

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2011

Daniel Heneberg

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

**Komunikace a datové přenosy pomocí USB 3.0 a
Wireless USB**

Communication and data transmission via USB 3.0
and Wireless USB

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Daniel Heneberg

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

Komunikace a datové přenosy pomocí USB 3.0 a Wireless USB
Communication and data transmission via USB 3.0 and Wireless USB

Zásady pro vypracování:

Při přenosu dat může být využito rozhraní USB, které využívá bedrátové nebo drátové připojení. Cílem této práce je vytvořit animace, které objasňují principy komunikace na tomto rozhraní.

1. Úvod do problematiky datových přenosů pomocí USB.
2. Popis a funkce rozhraní Wireless USB.
3. Vytvoření animace pro podporu výuky.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů vedoucího diplomové práce.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Nevlud**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011




prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Nevludovi za odborné vedení, cenné připomínky a pomoc poskytnutou při vypracovávání této diplomové práce. Rád bych poděkoval i všem ostatním, kteří přispěli cennými radami a podporou.

Abstrakt

Diplomová práce si klade za cíl vysvětlit datovou komunikaci pomocí nových rozhraní USB, drátového USB 3.0 a bezdrátového WUSB.

Teoretická část obsahuje stručně shrnutou historii USB a důvody využití univerzálního rozhraní, popisuje funkce fyzické, linkové a protokolové vrstvy u obou rozhraní a u WUSB je vysvětlena i použitá bezdrátová technologie UWB a způsoby navázání prvního spojení.

Praktická část se zabývá měřením přenosové rychlosti zařízení s USB 2.0 a USB 3.0 připojených do rozhraní USB 2.0 nebo USB 3.0, u kterých jsou porovnány a vyhodnoceny naměřené výsledky. Je proveden také rozbor řídicích přenosů u prvního spojení zařízení s hostitelem a analýza datových přenosů opět u rozhraní USB 2.0 a USB 3.0.

Pro výukové účely je teoretická i praktická část vysvětlena formou animací s a bez zvukové stopy, které názorným způsobem ujasňují danou problematiku.

Klíčová slova

animace, datový přenos, fyzická vrstva, hostitel, linková vrstva, OFDM, protokolová vrstva, rozhraní, USB, UWB, WUSB, zařízení

Abstract

This thesis aims at the explanation of the data communication using the new USB, wired USB 3.0 and wireless WUSB interfaces.

The theoretical part contains briefly summarized history of USB and reasons for using the USB universal interface. Functions of the physical, link and protocol layers at both interfaces are described. In the part dedicated to WUSB, also the used wireless technology UWB and ways of establishing the first connection are explained.

The practical part is focused on measurement of transmission speed of devices with USB 2.0 and USB 3.0 connected to interfaces USB 2.0 or USB 3.0, for which the measured results are compared and evaluated. An analysis of controlling transmissions at the first connection between the device and the host is performed, as well as an analysis of data transmissions, again for USB 2.0 and USB 3.0.

For educational purposes, both the theoretical and practical parts are explained in the form of animations with and without audio track, which clearly illustrate the given problems.

Key words

animation, data transmission, physical layer, host, link layer, OFDM, protocol layer, interface, USB, UWB, WUSB, devices

Seznam použitých symbolu a zkratek

ACK TP	ACKnowledgment Transaction Packet - paket indikující úspěšnost přenosu dat
AES-128	Advanced Encryption Standard – vylepšený šifrovací standart [1]
B	Byte – 1 byt = 8 bitů
BER	Bit Error Rates – bitová chybovost – četnost chyb na počet přijatých bitů [2]
BP	Beacon Period – čas, ve kterém je přenášen signální paket pro nalezení hostitele zařízením
CBAF	Cable Base Association Format – konfigurační rozhraní pro spojení přes kabel
CC	Connection Context – obsahuje konfigurační parametry pro připojení k hostiteli - CHID, CDID a CK
CDID	Connection Devices Identification - 128 bitové identifikační číslo zařízení
CK	Connection Key - spojovací klíč
CRC-XX	Cyclic Redundancy check – cyklický redundantní součet se používá pro detekci chyb, XX je počet bitů [5]
D-H	Diffie-Hellman – zabezpečený způsob vytvoření symetrického klíče [6]
D-kód	Datový kód
DNTS	Device Notification Time Slot – časový úsek pro žádosti od zařízení
DP	Data Packet – datový paket skládají se s hlavičky a užitečných dat
DPH	Data Packet Header – hlavička datového paketu
DRD	Dual Role Devices – zařízení podporující funkce WUSB hostitele i WUSB zařízení
DRP	Distributed Reservation Protocol – část MAC vrstvy, slouží pro rezervaci MAS
DWA	Device Wire Adapter - adaptér pro drátové zařízení
DWA	Device Wire Adapter – zařízení pro bezdrátové přemostění kabelového USB 2.0
EDB	End of nullified (bad) packet – označení chybného paketu, patří do skupiny K-kódu
END	End header or data packet – konec hlavičky nebo datového paketu, patří do skupiny K-kódu

EOB	End of Burst – konec transakce – označuje poslední paket v transakci
EPF	End Packet Framing – označení posledního paketu v rámci, patří do skupiny K-kódu
ERDY	Endpoint Ready - paket signalizující připravenost koncového bodu
FCC	Federal Communications Commission – Americký komunikační úřad
HID	Human Interface Device – označuje zařízení, pomocí kterého uživatel řídí hostitele. Obvykle se jedná o klávesnici nebo myš
CHID	Connection Host Identification - 128 bitové identifikační číslo hostitele
ITP	Isochronous Timestamp Packet – izochronní časová značka posílána opakovaně od hostitele informující zařízení o aktuálním sběrnicovém čase
ITU-R	International Telecommunication Union – Radio communication – mezinárodní telekomunikační unie odbor radiokomunikace
K-kód	Kód pro inicializaci a konfiguraci spojení
LBA	Logical Block Addressing – adresa logické jednotky v paměti
LLC	Logical Link Control - přenos fyzických datových rámců
LMP	Link Management Packet – linkový řídicí paket – typ hlavičky
LNU	Logical Number Unit – číslo logické jednotky v zařízení
LSB	Least Significant Byte – bajt s nejnižší hodnotou, je přenášen první
MAC	Media Access Control - řízení přístupu k médiu
MAS	Media Access Slots – rámeček pro přístup k médiu
MITM	Man-In-The-Middle - útok pomocí prostředníka, který odposlouchává a mění zprávy [13]
MMC	Micro-scheduled Management Command - řídicí informace pro přenosovou skupinu
MSB	Most Significant Byte – bajt s nejvyšší hodnotou, je přenášen poslední
MS-CTA	Micro-Scheduled Channel Time Allocations – kanálový čas přiřazený sekvenci
NAK	Negative Acknowledgement – paket signalizující neúspěšný přenos dat
N _D	Numeric display - počet zobrazovaných číslic na displeji zařízení

NFC	Near Field Communication – vysoko rychlostní komunikace na krátkou vzdálenost okolo 10 cm [15]
NRDY	Not Ready –paket signalizující nepřipravenost koncového bodu
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing - ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
OSI	Open Systems Interconnection - snaha o standardizaci komunikace v počítačových sítích
PHY	Physical layer – fyzická vrstva
PLCP	Physical Layer Convergence Protocol – protokol pro synchronizaci fyzické vrstvy
RS232	Recommended Standard 232 - doporučený standart pro sériový port nebo sériovou linku
SDP	Shielded Differential Pair – chráněný oddělený pár
SDP	Start Data Packet – označení začátku datového paketu, patří do skupiny K-kódu
SHP	Start Header Packet – označení prvního paketu v rámci, patří do skupiny K-kódu
SID	Stream ID – označení toku
SLC	Start Link Command – začátek linkového příkazu
STALL TP	STALL Transaction Packet – transakční paket označující interní chybu zařízení
TP	Transaction Packet – transakční paket, může být vícero druhů
UDP	Unshielded Differential Pair – nechráněný oddělený pár
USB	Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice
UWB	Ultra-WideBand - ultra široké pásmo
$W_{DNTS}CTA$	Wireless USB channel allocation block - Device Notification Time Slot – WUSB kanálová část rezervovaná pro potvrzení přijetí dat zařízením
$W_{DR}CTA$	Wireless USB channel allocation block - Data Receive – WUSB kanálová část rezervovaná pro přijetí dat
$W_{DT}CTA$	Wireless USB channel allocation block - Data Transmit – WUSB kanálová část rezervovaná pro přenos dat
WUSB	Wireless Universal Serial Bus - bezdrátová univerzální sériová sběrnice
b	bit

Obsah

I. Teoretická část

1. Úvod	1
2. USB 3.0	2
2.1. Základní informace	2
2.2. Fyzická vrstva	3
2.3. Linková vrstva.....	4
2.3.1. Paket linkové vrstvy	4
2.3.2. Příkazy linkové vrstvy	4
2.4. Protokolová vrstva.....	5
2.4.1. Typy a formáty paketů	5
2.4.1.1. Paket linkového řízení (LMP)	6
2.4.1.2. Transakční paket (TP)	7
2.4.1.3. Datový paket (DP).....	8
2.4.1.4. Paket izochronní časové značky (ITP)	8
2.5. Přenos dat	8
2.5.1. Typy datových přenosů	9
2.5.1.1. Řídící přenos.....	9
2.5.1.2. Hromadný přenos	10
2.5.1.3. Přerušovací přenos.....	10
2.5.1.4. Izochronní přenos	11
2.6.1. Transakční přenosy.....	12
2.6.1.1. Řídící transakce	12
2.6.1.2. Hromadné transakce	13
2.6.1.3. Přerušovací transakce	13
2.6.1.4. Izochronní transakce.....	14
3. Certifikované bezdrátové USB	15
3.1. Základní informace	15
3.2. Fyzická vrstva	16
3.2.1. UWB.....	16
3.2.2. OFDM	17

3.3.	Linková a protokolová vrstva	18
3.3.1.	Přenos dat	19
3.3.2.	Typy datových přenosů	19
3.3.2.1.	Řídící přenos.....	21
3.3.2.2.	Hromadný přenos	21
3.3.2.3.	Přerušovací přenos.....	22
3.3.2.4.	Izochronní přenos	23
3.4.	Bezdrátová komunikace	24
3.4.1.	První spojení zařízení s hostitelem	24
3.4.1.1.	Kabelový model WUSB 1.1	24
3.4.1.2.	Číslicový model WUSB 1.0	25
3.4.2.	Připojení k hostiteli	27
3.4.3.	Opětovné připojení k hostiteli	27
3.4.4.	Odpojení od hostitele.....	27

II. Praktická část

4.	Měření rychlosti a analýza navázání spojení USB.....	28
4.1.	Měření přenosové rychlosti reálného USB	28
4.2.	Analýza procedury připojení zařízení USB k hostiteli.....	34
4.2.1.	ASUS M-UV55a s USB 2.0	35
4.2.2.	Kingston DataTravel 1 GB s USB 2.0.....	38
4.2.3.	ADATA S102 8GB s USB 3.0	39
5.	Výukové animace	43
6.	Závěr.....	45
	Literatura	47
	Přílohy	49
A.	Úvod.....	1
B.	USB 3.0	1
C.	WUSB	17
D.	Měření rychlosti a analýza navázání spojení USB	23
E.	Animace	53

Seznam obrázků

Obrázek 2-1 RC obvod pro detekci připojení přijímače	3
Obrázek 2-2 Vícenásobný datový tok přes jednu komunikační rouru hromadného přenosu.....	10
Obrázek 3-1 Využití frekvenčního spektra různými technologiemi a jejich vysílací výkon	17
Obrázek 3-2 Rozdělení datového toku do více frekvenčních skupin [9]	18
Obrázek 3-3 Rozdělení kanálového času WUSB 1.1	18
Obrázek 3-4 Rozdělení přenosové skupiny pro více zařízení	19
Obrázek 3-5 Základní přenosový formát pro všechny přenosy.....	20
Obrázek 3-6 Příklad umístění DNTS v super rámci.....	24
Obrázek 3-7 Kabelový model prvního spojení podle revize WUSB 1.1 [9].....	25
Obrázek 4-1 Program HD Tune Pro 4.60 po měření průměrné přenosové rychlosti čtení a zápisu flash disku ADATA S102 8GB připojeného na port USB 3.0	28
Obrázek 4-2 Schéma zapojení analyzátoru Beagle USB 12	34
Obrázek 4-3 Procedura připojení a konfigurace zařízení Asus M-UV55a USB 2.0 k hostiteli	35
Obrázek 4-4 Data v odpovědi na první požadavek „Get Device Descriptor“	35
Obrázek 4-5 Popis konfiguračního nastavení z programu USBlyzer – napájení, rozhraní, HID a koncového bodu	36
Obrázek 4-6 Struktura řídicí transakce.....	37
Obrázek 4-7 Struktura přerušovacích transakcí s dekodovanými daty programem USBlyzer	37
Obrázek 4-8 Procedura připojení a konfigurace zařízení Kingston DataTravel 1 GB USB 2.0 k hostiteli.....	38
Obrázek 4-9 Procedura připojení a konfigurace zařízení ADATA S102 8Gb USB 3.0 k hostiteli	39
Obrázek 4-10 Chybně analyzovaná datová část u transakce „Get Descriptor Response Device“	39
Obrázek 4-11 Odpověď zařízení popisující napájení, rozhraní a koncové body	40
Obrázek 4-12 Transakce „Get Descriptor String“ se slovním popisem zařízení	40
Obrázek 4-13 Test připravenosti zařízení přijímat nebo odesílat data	41
Obrázek 4-14 Transakce požadavku dostupné kapacity paměti v zařízení i s odpovědí zařízení.....	41
Obrázek 4-15 Vstupní datová transakce.....	42
Obrázek 4-16 Výstupní datová transakce.....	42
Obrázek 5-1 Základní animace – menu USB 3.0.....	43
Obrázek 5-2 Rozdělení animace na adresáře a vrstvy.....	44
Obrázek 5-3 Zdrojový kód s funkcemi pro spuštění a ukončení animace z menu animace.....	44
Obrázek A-1 Konektor microUSB.....	1
Obrázek B-1 Blokové schéma USB 3.0 [7]	1
Obrázek B-2 Komunikační vrstvy sběrnice USB 3.0 s napájecím řízením [7].....	2
Obrázek B-3 Datový kabel USB 3.0	2
Obrázek B-4 Konektor STANDART-A USB 3.0.....	3
Obrázek B-5 Konektor STANDART-B USB 3.0	3
Obrázek B-6 Konektor micro STANDART-B USB 3.0.....	3
Obrázek B-7 Kódování 8b na 10b a dekodování 10b na 8b [7]	4
Obrázek B-8 Převod z paralelních na sériové bity a opačně [7]	4
Obrázek B-9 Přijímací a vysílací diagram USB 3.0.....	5

Obrázek B-10 Hlavička pro zapouzdření paket	6
Obrázek B-11 Kontrolní linkové slovo	6
Obrázek B-12 Linkový datový paket s hlavičkou a užitečnými daty	6
Obrázek B-13 Linkový příkaz.....	7
Obrázek B-14 Struktura „Set Link Function“ paketu [7].....	7
Obrázek B-15 Struktura „Port Capabilities“ paketu [7].....	7
Obrázek B-16 Struktura „Acknowledgement“ paketu [7]	7
Obrázek B-17 Struktura „Not Ready“ paketu [7]	7
Obrázek B-18 Struktura „Endpoint Ready“ paketu [7].....	8
Obrázek B-19 Struktura „STATUS“ paketu [7].....	8
Obrázek B-20 Struktura „STALL“ paketu [7]	8
Obrázek B-21 Struktura „PING“ paketu [7]	8
Obrázek B-22 Struktura datový paketu [7]	9
Obrázek B-23 Struktura paketu izochronní časové značky [7]	9
Obrázek B-24 Řídící transakce čtení a zápis.....	9
Obrázek B-25 Vstupní hromadná transakce.....	10
Obrázek B-26 Výstupní hromadná transakce.....	11
Obrázek B-27 Vstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu	12
Obrázek B-28 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve vstupní přerušovací transakci.....	12
Obrázek B-29 Vstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující	13
Obrázek B-30 Vstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení	13
Obrázek B-31 Výstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu.....	13
Obrázek B-32 Výstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující	14
Obrázek B-33 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve výstupní přerušovací transakci	14
Obrázek B-34 Výstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení	14
Obrázek B-35 Vstupní izochronní přenos	15
Obrázek B-36 Výstupní izochronní přenos	15
Obrázek C-1 Různé využití WUSB	17
Obrázek C-2 Nahrazení kabelového spojení bezdrátovým DWA adaptérem	17
Obrázek C-3 DRD digitální fotoaparát	17
Obrázek C-4 Formát rámce fyzické vrstvy	18
Obrázek C-5 Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti zařízení od hostitele [9].....	18
Obrázek C-6 Obsazení skupin dle regionů.....	19
Obrázek C-7 Použití více nosných a jejich vzájemná ortogonalita.....	19
Obrázek C-8 MAS rezervované DRP pro MMC	20
Obrázek C-9 Formát rámce protokolové vrstvy zapouzdřený MAC vrstvou	20
Obrázek C-10 Rozdíl v přenosovém protokolu mezi USB 2.0 a WUSB 1.1	21
Obrázek C-11 Určené časové sekce pro příjem/vysílání dat v MMC	21
Obrázek C-12 Řídící přenos s datovou fází.....	21
Obrázek C-13 Imation Link Wireless USB zařízení pro přenos obrazu	22
Obrázek C-14 Wireless USB hard disk Imation Pro WX 1.5 TB	22
Obrázek D-1 Flash disk ADATA S102 8GB s USB 3.0.....	23
Obrázek D-2 Flash disk Kingston DataTraveler 1GB.....	23

Obrázek D-3 Box MSI a hard disk Wester Digital Scorpio Black 160GB	24
Obrázek D-4 Základní deska GIGABYTE 880GMA-UD2H	24
Obrázek D-5 Beagle USB 12 protokolový analyzátor	24
Obrázek D-6 Asus M-UV55a.....	25
Obrázek D-7 Struktura transakce o popis zařízení – „Get Device Descriptor“	25
Obrázek D-8 Struktura transakce přidělení adresy zařízení – „Set Address“	26
Obrázek D-9 Struktura transakce o popis zařízení po přidělení adresy – „Get Device Descriptor“	27
Obrázek D-10 Struktura transakce o popis konfigurace zařízení – „Get Device Descriptor“	28
Obrázek D-11 Struktura transakce slovního popisu zařízení – „Get String Descriptor“	29
Obrázek D-12 Struktura transakce nastavení konfigurace – „Set Configuration“	30
Obrázek D-13 Struktura transakce řídicího přenosu – „Control Transfer“	31
Obrázek D-14 Struktura vstupní datové transakce.....	32
Obrázek E-1 Základní animace – menu WUSB.....	53
Obrázek E-2 Rozdělení animace na části	53

Seznam tabulek

Tabulka 2-1 Seznam názvu nejdůležitějších polí s délkou a popisem	5
Tabulka 2-2 Rozdíly mezi specifikací USB 3.0 a USB 2.0	9
Tabulka 4-1 Rozdíly mezi připojením flash disku ADATA S102 8GB na port USB 3.0 nebo USB 2.0	30
Tabulka 4-2 Rozdíly mezi připojením flash disku Kingstone DataTraveler 1GB na port USB 3.0 nebo USB 2.0	31
Tabulka 4-3 Rozdíl mezi připojením hard disku WD Scorpio 160Gb na port USB 3.0 nebo USB 2.0	32
Tabulka B-1 Bitové hodnoty linkových příkazů	16
Tabulka B-2 Hodnoty pole Typ dle typu paketu [7]	16
Tabulka C-1 Přenosové rychlosti dle použitých modulací	22
Tabulka C-2 Užitečná data v servis. interv. podle vyrovnávací paměti a velikosti paketu [8]	23
Tabulka D-1 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0	33
Tabulka D-2 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0	34
Tabulka D-3 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0	35
Tabulka D-4 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0	36
Tabulka D-5 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 3.0	37
Tabulka D-6 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu	38
Tabulka D-7 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0	39
Tabulka D-8 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu	40
Tabulka D-9 Porovnání průměrných přenosových rychlostí flash disků ADATA S102 8GB na portu USB 3.0 a Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0	41
Tabulka D-10 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0	42
Tabulka D-11 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0	43
Tabulka D-12 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0	44
Tabulka D-13 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0	45
Tabulka D-14 Seznam různých naměřených hodnot nebo zlepšení při použití portu USB 3.0	46

Seznam grafů

Graf 4-1 Zvýšení průměrné přenosové rychlosti u zařízení USB 2.0 připojeného na port USB 3.0 a zvýšení maximální přenosové rychlosti řadiče USB 2.0 integrovaného do USB 3.0 – Čtení.....	33
Graf 4-2 Zvýšení průměrné přenosové rychlosti u zařízení USB 2.0 připojeného na port USB 3.0 a zvýšení maximální přenosové rychlosti řadiče USB 2.0 integrovaného do USB 3.0 – Zápis	33
Graf D-1 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0.....	47
Graf D-2 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 2.0.....	47
Graf D-3 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0	48
Graf D-4 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0	48
Graf D-5 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 3.0	49
Graf D-6 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 2.0	49
Graf D-7 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0.....	50
Graf D-8 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0.....	50
Graf D-9 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 3.0.....	51
Graf D-10 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 2.0	51
Graf D-11 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0	52
Graf D-12 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0.....	52

1. Úvod

Na počátku USB byl indicko-americký vynálezce Ajay Bhatt, který pracoval pro Intel a navrhnul tuto sběrnici. V listopadu roku 1994 vznikla první nezveřejněná verze USB 0.7. Postupným vývojem byla zveřejněna první specifikace USB 1.0 v lednu roku 1996. Na vývoji se podílely firmy Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC a Nortel. Jejich cílem bylo nahradit sériový port RS232, důvody byly jednoduché, potřeba podpory „Plug and Play“ (připoj a používej) a integrování napájení do rozhraní. USB 1.0 podporovala přenosové rychlosti 1.5 Mbit/s a 12 Mbit/s. Nižší rychlost sloužila především pro ovládání počítače – klávesnici a myš, vyšší rychlost pro komunikaci počítače s tiskárnou, digitálním fotoaparátem a podobně. Další verze USB 1.1 byla vydána v září roku 1998 a opravovala chyby předešlé verze, především práci s uzly, které využívaly USB huby. Standardní rychlost byla 12 Mbit/s a mohly ji využít i paměťové disky.

USB se široce rozšiřovalo do všech komponent počítačů a se zvyšujícími nároky na přenosové rychlosti museli výrobci přijít s novou, rychlejší, verzí. Na vývoji pracovaly firmy Hewlett-Packard, Intel, Lucent Technologies, Nec a Philips. V dubnu roku 2000 vydaly novou specifikaci USB 2.0, která podporovala přenosovou rychlost až 480 Mbit/s. USB se stalo nejrozšířenějším rozhraním na světě, a proto podle potřeby vznikaly různé tvary konektorů podle použití v zařízení. V roce 2006 bylo USB v 2 miliónech zařízení a k dnešnímu datu je ve více než 6 miliónech zařízení. Nejmenší konektor USB 2.0 je microUSB (obrázek A-1) a byl vydán v dubnu roku 2007, používá se především u mobilních telefonů, ale uplatnění díky své malé velikosti najde téměř všude.

Rychle rostoucí trh s informačními technologiemi potřebuje stále rychlejší přenosové rychlosti, a proto bylo i USB 2.0 nevyhovující a velké společnosti musely reagovat vydáním nové specifikace USB 3.0 v listopadu roku 2008. Nové rozhraní podporuje přenosovou rychlost až 5 Gbit/s, využívá plně duplexní komunikaci, která je tvořena roury přesně směřovaných na každé zařízení, využívá vícestupňové řízení spotřeby energie – spotřeba klesla na 1/3 USB 2.0, zvyšuje maximálně odejíratelný proud a zachovává zpětnou kompatibilitu se všemi verzemi 2.0.

USB bylo zatím vždy navrženo pro spojení hostitele a zařízení pomocí kabelu, ale v dnešních zařízeních uživatelé preferují bezdrátový přenos dat. Existují sice bezdrátová rozhraní splňující tento požadavek, ale vždycky byla pomalejší než USB 2.0. Proto seskupení firem vyvinulo bezdrátové USB (Wireless USB), operující na velice širokém UWB pásmu s přenosovou rychlostí 480 Mbit/s do vzdálenosti 3 m, která je stejná jako u USB 2.0.

V diplomové práci jsou popsány poslední dvě technologie USB, USB 3.0 a WUSB, které jsou díky svým vlastnostem předurčeny k náhradě stávajících rozhraní.

2. USB 3.0

2.1. Základní informace

USB 3.0 bylo představeno 17. září 2007 a první specifikace vyšla 12. listopadu 2008. Je následovníkem nejrozšířenějšího konektoru na světě USB 2.0, který již deset let slouží jako univerzální konektor pro jakákoliv zařízení. Největším vylepšením je desetinásobné zvýšení přenosové rychlosti, vícestupňové řízení spotřeby s 80 % přírůstkem maximálně odebíraného proudu a kompatibilita se všemi verzemi USB. To vše díky tomu, že obsahuje paralelní řadiče starších verzí USB, viz obrázek B-1.

Rozdíly oproti starší verzi USB 2.0:

- maximální přenosová rychlost 5Gbit/s (skutečná asi 3.2 Gbit, 400 MB/s)
- plně duplexní komunikace, oddělený fyzický kanál pro vysílání a příjem dat
- nový kabel s 8 vodiči a konektor s 9 piny se zachováním zpětné kompatibility
- asynchronní potvrzování úspěšnosti přenosu dat
- vícestupňové řízení spotřeby dovolující režimy vypnutý, pohotovostní a přerušovací
- maximální odebíraný proud 900mA pro konfigurovatelné zařízení, 750mA pro nekonfigurovatelné
- data se neposílají širokopásmově na všechna zařízení, ale vytváří se komunikační roury ke každému zařízení
- vylepšení hromadného přenosu o možnost vytvoření více toků dat pomocí jediné hromadné komunikační roury
- minimální napájecí napětí sníženo ze 4.4 V na 4 V.

Na bezpečnost při přenosu dat je kladen velký důraz, a proto se každá část zabezpečuje CRC, který umí detekovat i několikanásobné chyby (velikosti CRC a počet zabezpečených bitů určuje, kolik chybných bitů může správně odhalit).

Základní symboly pro zvýšení odolnosti proti chybám:

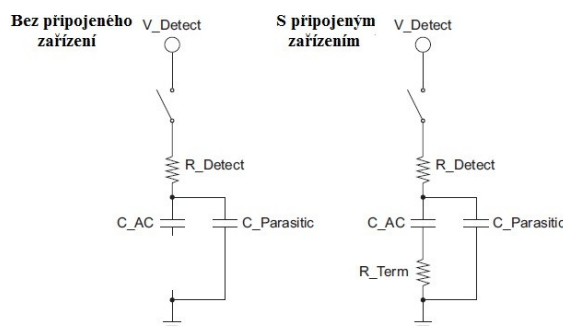
- integrita signálu pomocí diferenčního vysílače/přijímače a stínění
- CRC ochrana hlavičky a dat
- opakování hlavičky na linkové vrstvě k zabezpečení správného přenosu
- opakování datového paketu protokolu konec-konec pro zajištění úspěšného doručení
- detekování připojení a odpojení a systémová konfigurace zdrojů
- datové a kontrolní roury k zaručení nezávislosti na špatné součinnosti mezi funkcemi

2.2. Fyzická vrstva

Struktura kabelu USB 3.0 je odlišná od starších verzí USB, protože se zvýšil počet vodičů o nové 4 pro obousměrnou datovou komunikaci. UDP signální pár slouží k zachování kompatibility se staršími USB a dva SDP signální páry jsou určeny superrychlým přenosům USB 3.0, viz obrázek B-3. Všechny typy konektorů se musely také přizpůsobit většímu počtu vodičů. Zachování zpětné kompatibility byla základní podmínka, proto se u nových konektorů přidaly piny (obrázek B-4, obrázek B-5) nebo se rozšířily o další část, viz obrázek B-6.

Duplexní spojení dovoluje ve stejný čas přijímat i vysílat data. Vysílací blok se skládá z kodéru D-kódu, kodéru 8 bitového slova na 10 bitové (obrázek B-7), registru (obrázek B-8) a vysílače, který čte bity sériově a transformuje je z digitální hodnoty na elektrickou. Hlavní hodiny řídí posun dat mezi oddíly a bitové hodiny rychlost vysílání dat. Přijímací blok je fyzicky oddělený od vysílacího a obsahuje tyto hlavní části: přijímač, který mění elektrické impulzy na digitální, registr pro ukládání sériových dat (obrázek B-8), dekodéru 10 bitů na 8 (obrázek B-7) a dekodéru D-kódu, viz obrázek B-9.

Součástí vysílače je i obvod pro zjištění připojení přijímače. Detekování se provádí měřením časové konstanty RC obvodu. Tato časová konstanta se mění v závislosti na přítomnosti přijímače, viz obrázek 2-1.



Obrázek 2-1 RC obvod pro detekci připojení přijímače

Připojením USB 3.0 je zahájena inicializace a konfigurace komunikace. Proces začíná sekvencí s bitovým přizpůsobením, symbolovým zarovnáním a optimalizací. Sekvence nejsou nikdy kódované (K-kód), ale jsou převedeny z 8b na 10b. Pro synchronizaci bitových hodin existuje speciální sekvence, která je dostatečně dlouhá, aby obvod obnovení hodin získal fázi a četnost informací. Jakmile je synchronizace dokončena, musí se najít začátek a konec 10-ti bitového symbolu. K tomu slouží speciální K-kód COMMA, který je jedinečný a nikdy nemůže být stejný s jinými daty. Fyzická vrstva poskytuje BER menší než 1 bit na 10^{12} bitů.

2.3. Linková vrstva

Linková vrstva má na starost bezpečné logické spojení dvou portů – linkových partnerů. Spolehlivost komunikace je zajištěna linkovým řízením toku pomocí paketů, které mohou přenést data a různé informace, a linkových příkazů. Zapouzdření dat paketem toleruje chybu v jednom symbolu, podporuje detekci chyb, ověření a integritu. Dále linková vrstva umožňuje nastavení, testování, řízení spotřeby energie zařízení a zajišťuje BER menší než 1 bit na 10^{20} bitů pro hlavičky paketů.

2.3.1. Paket linkové vrstvy

Hlavička pro zapouzdření paket

Má velikost 20 bytů a obsahuje 4 K-kódové symboly začátku rámce (3 SHP a 1 EPF), 12 symbolů pro protokolovou vrstvu, 2 symboly pro CRC-16 (polynom CRC-16 není stejný s USB 2.0) a 2 symboly kontrolního linkového slova, viz obrázek B-10.

Slouží pro:

- pakety řízení linkové vrstvy,
- přenosové pakety
- hlavičky datových paketů
- pakety izochronních časových značek

Kontrolní linkové slovo

Slouží pro linkovou vrstvu a kontrolu toku konec-konec. Musí obsahovat tři bity pořadového čísla hlavičky, tři rezervované bity, tři bity pro úroveň hubu, zpožďovací a odkazovací bit, a pět bitů pro zabezpečení CRC-5, viz obrázek B-11.

Datový paket

Skládá se ze dvou částí: hlavičky (obrázek B-10) a užitečných dat, viz obrázek B-12. Užitečná data jsou zapouzdřena čtyřmi byty CRC-32 a osmi K-symboly - 4 pro signalizaci začátku (3 SDP, 1 EPF) a 4 pro určení konce, který může být dvojího druhu. Správné ukončení je označeno třemi END a jedním EPF, ale neobvyklé ukončení (přerušené, chybné,...) je indikováno třemi EDB a jedním EPF.

2.3.2. Příkazy linkové vrstvy

Používají se pro kontrolu toku dat, identifikování ztracených nebo poškozených paketů, inicializaci komunikace a řízení napájení. Linkový příkaz se skládá ze dvou bytů, 11 bitů informačních a 5 bitů zabezpečení CRC-5, viz obrázek B-13.

Jsou definované 4 druhy příkazu: první pro potvrzení úspěšnosti přenosu paketu, druhý pro řízení toku dat, třetí pro řízení napájení a poslední čtvrtý je určen pro nastavení portu. Bitové hodnoty příkazů linkové vrstvy jsou v tabulce B-1.

2.4. Protokolová vrstva

Zajišťuje a řídí spojení bod-bod mezi hostitelem a zařízením. Komunikace je vytvořena jednosměrnou rourou a hostitel řídí, kdy budou data přenášena. Celá protokolová vrstva komunikuje přes výměnu paketů, které jsou složeny posloupností datových bytů s určitou kontrolní sekvencí jako oddělení od linkové vrstvy.

Paketové hlavičky jsou sestaveny z bloků protokolové vrstvy, mají přesnou velikost s typy a podtypy hodnot zakódovaných pro určité použití. Aplikační data jsou vždy předcházena paketovou hlavičkou, které jsou přenášeny přes linkovou vrstvu (port-port) a slouží pro řízení toku dat. Zbývající části (aplikační data) jsou využity protokolem konec-konec. Protokolová vrstva podporuje u některých typů přenosů potvrzování úspěšnosti doručení dat a opakování přenosu v případě chyb.

2.4.1. Typy a formáty paketů

Používají se základní čtyři druhy paketů s jedním nebo více podtypy. Všechny pakety se skládají ze 14 bytové hlavičky, následované 2 bytovým kontrolním linkovým slovem. Hlavička má dvě části: revizi a typ, které potřebují přijímací objekty (hostitel, hub, zařízení), zahrnující i 2 bytové zabezpečovací CRC-16. Paketová hlavička neodstraní nebo nedetekuje BER větší než 1 bit na 10^{20} bitů. Všechna zařízení, huby a hostitelé přijímají LMP. Huby mají odpovědnost za předání DP, ITP a TP oběma směry (hostitel->zařízení, zařízení->hostitel), kromě ITP, které přenáší jen jedním směrem od hostitele k zařízení. Kontrolní slovo v TP, ITP nebo DPH se průchodem hubu může změnit.

Pakety popsané níže jsou v nekódovaném formátu a bez úprav, kterými musí projít před odesláním na fyzickou vrstvu. Všechny hlavičky začínají polem Typ, podle kterého se zjistí, jak s daným paketem pracovat. Možné hodnoty v poli Typ jsou v tabulce B-2. Rezervované pole a rezervované hodnoty nesmí být použity výrobcem, musí mít hodnotu nula a příjemcem být ignorovány. Seznam nejdůležitějších polí s významem je v tabulce 2-1.

Tabulka 2-1 Seznam názvu nejdůležitějších polí s délkou a popisem

Délka [bit]	Název	Popis
20	Route String/Reserved	používá ho pouze hub ke správnému nasměrování do výstupního portu
7	Device Address	jednoznačné určení zařízení
4	Type	typ hlavičky
4	SubType	podtyp hlavičky
1	Direction (D)	určuje směr komunikace 0b hostitel->zařízení 1b zařízení->hostitel
1	Retry Data Packet (rty)	opakování přenosu paketu
4	Endpoint Number (Ept Num)	číslo koncového bodu
5	Number of Packets (NumP).	číslo paketu

5	Sequence Number (Seq Num)	číslo sekvence
1	End Of Burst (EOB)/ Last Packet Flag (LPF).	Pro neizochronní koncové body značí konec série, pro izochronní koncové body indikuje poslední paket poslední série v aktuálním servisním intervalu.
1	Setup (S)	označuje datový paket „SETUP“, používá ho pouze hostitel
16	Data Length	délka užitečných dat v bytech bez CRC-32
27	Isochronous Timestamp (ITS)	aktuální čas hostitele
7	Link speed	linková rychlost podporovaná zařízením
X	Reserved/Rsvd	rezervované pro budoucí použití, musí být vždy nulové a nesmí ho použít výrobce zařízení

2.4.1.1. Paket linkového řízení (LMP)

Tento paket slouží k řízení jedné cesty, nenese žádnou adresu, proto nemůže být směrován. Může být generován ke konfiguraci portu hubu.

Podtypy paketu linkového řízení jsou:

- „Set Link Function“ – nastavení linkových funkcí
- „U2 Inactivity Timeout“ – nastavení časového limit nečinnosti U2
- „Vendor Device Test“ – výrobní test zařízení
- „Port Capabilities“ – popis portu
- „Port Configuration“ – nastavení portu
- „Port Configuration Response“ – odpověď na nastavení portu

Popis nejdůležitějších typů paketů linkového řízení:

„Set Link Function“ paket (obrázek B-14)

Musí být použit pro konfiguraci funkcí, které mohou být změněny bez nutnosti opuštění aktivního stavu (restartování apod.).

„Port Capabilities“ paket (obrázek B-15)

Popisuje linkový port a je poslán oběma linkovými partnery po úspěšném dokončení inicializace a testovací sekvence.

2.4.1.2. Transakční paket (TP)

Tvoří přímé spojení mezi hostitelem a zařízením, kontroluje datový tok a řídí spojení koncem.

Podtypy transakčního paketu jsou:

- „Acknowledgement“ (ACK) – potvrzovací paket
- „Not Ready“ (NRDY) – paket pro signalizaci nepřipravenosti
- „Endpoint Ready“ (ERDY) – paket pro signalizaci připravenosti koncového bodu
- „STATUS“ – paket pro signalizaci stavu
- „STALL“ – paket pro signalizaci zastavení komunikace
- „Device Notification“ – paket pro zprávy od zařízení (má ještě více druhů)
- „PING“ – paket pro inicializaci izochronního přenosu
- „PING_RESPONSE“ – odpověď po přijetí paketu „PING“

Popis nejdůležitějších typů transakčních paketů:

„Acknowledgement“ paket (ACK) (obrázek B-16)

Slouží pro dva cíle:

- vstupní koncové body – posílá je hostitel, který žádá data ze zařízení nebo potvrzuje přijetí předešlých dat
- výstupní koncové body – posílá je zařízení, které potvrzuje přijetí dat a informuje hostitele o volném místě ve vyrovnávací paměti

„Not Ready“ paket (NRDY) (obrázek B-17)

Paket může poslat jen neizochronní koncový bod zařízení. Výstupní koncový bod ho pošle tehdy, když nemá místo na přijetí datového paketu od hostitele. Vstupní koncový bod tímto paketem odpoví na ACK TP, pokud nemůže odpovědět datovým paketem.

„Endpoint Ready“ paket (ERDY) (obrázek B-18)

Paket může poslat jen neizochronní koncový bod zařízení. Sděluje hostiteli, že koncový bod je připraven přijímat nebo odesílat datové pakety.

„STATUS“ paket (obrázek B-19)

Paket může poslat jen hostitel informující kontrolní koncový bodu o zahájení „Status“ fáze.

„STALL“ paket (obrázek B-20)

Posílá ho pouze koncový bod zařízení, který informuje hostitele o přerušení spojení nebo chybném kontrolním přenosu.

„PING“ paket (obrázek B-21)

Posílá ho pouze hostitel k inicializaci všech linek na trase do zařízení pro izochronní přenos. Zařízení musí odpovědět „PING_RESPONSE“ paketem.

2.4.1.3. Datový paket (DP)

Slouží pro přímý přenos dat mezi hostitelem a zařízením. Zařízení může poslat tento paket pouze jako odpověď na ACT TP. Skládá se ze dvou částí: hlavičky a užitečných dat. Užitečná data mohou být nulové délky, ale musí být vždycky zabezpečen CRC-32, viz obrázek B-22.

2.4.1.4. Paket izochronní časové značky (ITP)

Pomocí tohoto paketu se doručují časové značky pro synchronizaci pouze od hostitele všem zařízením. Neobsahuje adresu nebo směrování a je šířený huby všesměrově na jejich výstupní porty. Zařízení nesmí na tento paket odpovídat a může být přenášen mezi datovými pakety v sérii. Pokud dorazí do zařízení s nastaveným zpoždovacím bitem v kontrolním linkovém slově, musí být ignorován, viz obrázek B-23.

2.5. Přenos dat

Princip přenosu dat je velmi podobný se specifikací USB 2.0, používá stejnou architekturu vrstev a základních komunikačních komponent. (spojení bod-bod, stejné typy datových přenosů apod.) Koncový bod je charakterizován vlastnostmi (maximální velikostí paketu, velikostí vyrovnávací paměti, apod.) a informacemi o „SuperSpeed“ udávanými ve společném popisku. Koncový bod je jednoznačně identifikován třemi adresami (adresou zařízení, číslem koncového bodu a směrem komunikace) a musí podporovat základní řídicí rouru (koncový bod nula), která je stejně definovaná jako u specifikace USB 2.0. Rozdíly mezi specifikací USB 3.0 a USB 2.0 jsou v tabulce 2-2.

Hromadění dat efektivně eliminuje čekací čas na potvrzení. Každý koncový bod signalizuje, kolik paketů může přijmout/odeslat před potvrzením. Hostitel může dynamicky měnit velikost hromaděných dat na každou transakci, maximálně ale na hodnotu podporovanou koncovým bodem.

Tabulka 2-2 Rozdíly mezi specifikací USB 3.0 a USB 2.0

USB 2.0	USB 3.0
tři části přenosu (hlavičku, data a potvrzení)	tři části přenosu (hlavičku, data a potvrzení), ale pro výstupní data je hlavička začleněna do datového paketu a pro vstupní data hlavička nahrazuje potvrzení
nepodporuje průběžné hromadné přenosy	podporuje průběžné hromadné přenosy
jednosměrná komunikace	obousměrná komunikace
nedělí kapacitu pro hromadné koncové body	dělí kapacitu pro hromadné koncové body
nemá nástroje pro izochronní zařízení v nízkoenergetickém režimu mezi servisními intervaly	dovoluje izochronní zařízení samostatně přecházet do nízkoenergetického režimu mezi servisními intervaly
zařízení nemohou informovat hostitele, jaké maximální intervaly mezi zprávami dovolují, když přejdou do nízkoenergetického režimu, proto hostitel nemůže využít nízkoenergetického režimu	zařízení mohou informovat hostitele, jaké maximální intervaly mezi zprávami dovolují, když přejdou do nízkoenergetického režimu, proto hostitel může vytvořit systém nízkoenergetického režimu
přenos SOF/uSOF je určený intervalem 1 ms /125 μ s, zařízení může změnit interval malým upravením v závislosti na hostiteli a programu systému	přidává funkci pro zařízení, které může poslat zprávu o upravení intervalu přenosu SOF/uSOF v rozmezí +/- 13.333 μ s hostiteli, který podle ní změni základní interval 125 μ s. Kromě toho hostitel může poslat ITP.
řízení energetického režimu, zahrnující řízení linkového napájení, vždy přímo inicializoval hostitel	každý koncový bod zařízení se nezávisle na ostatních může přepínat mezi energetickými režimy a tím snižovat spotřebu zařízení
zpracovává detekci chyb a kontrolu toku pouze na konci vrstvy každé transakce	spojuje detekci chyb a kontrolu toku mezi koncem a linkovými vrstvami

2.5.1. Typy datových přenosů

USB definuje od svého počátku 4 druhy datových přenosů, které se liší svými parametry, a proto jsou vhodné vždy jen pro určitou aplikaci. Nejdůležitějšími vlastnostmi datových přenosů je přenosová rychlost, zpoždění, variabilita zpoždění a spolehlivost doručení dat.

2.5.1.1. Řídící přenos

Každé zařízení musí podporovat základní řídící rouru (koncový bod nula), která je určena pro inicializaci a řízení pomocí zpráv. Tato roura dovoluje přístup k popisu zařízení a vysílá požadavky pro nastavení zařízení hostiteli. Stejně jako u USB 2.0 klientský program nemůže požadovat určitou přenosovou rychlost, ale přenos je realizován nejrychlejší způsobem - „best effort“.

Maximální velikost užitečných dat je 512 bytů a velikost vyrovnávací paměti je 1. Řídící přenos může být naplánován současně se všemi jinými druhy přenosů pro další koncové body.

Opakování nemá přednost před ostatními přenosy. Hostitel spravedlivě rozděluje přenosovou kapacitu řídicích přenosů pro všechny koncové body. Řídicí přenos má přednost před hromadným přenosem, ale v některých případech to nemusí být dodrženo.

2.5.1.2. Hromadný přenos

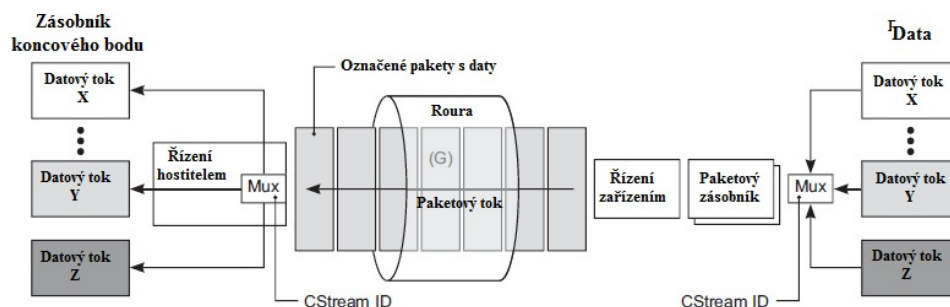
Zařízení, které potřebuje přenášet velké množství dat s proměnlivým časem, může využít hromadný přenos. Koncový bod hromadného přenosu má zaručen přístup na sběrnici veškerou dostupnou přenosovou rychlostí se zaručeným doručením, ale bez garantování zpoždění nebo požadované přenosové rychlosti. Struktura přenášených dat není přesně určena. Proudová roura je jednosměrná, proto se pro oboustrannou komunikaci musí vytvořit dvě.

Maximální velikost užitečných dat je 1024 bytů a velikost vyrovnávací paměti je 1 až 16. Koncový bod hromadného přenosu musí přenést data velikosti rovnající se nebo menší 1024 bytů, větší data musí rozdělit na více částí. Hromadný přenos může být ve více sběrnicových transakcích a ukončen je jednou z možností:

- bylo přeneseno určité množství dat
- byl přenesen paket menší než 1024 bytů
- odpověď s STALL potvrzením nebo vyčerpání limitu pro opakování přenosů

Hostitel spravedlivě rozděluje všem koncovým bodům volnou kapacitu a v případě vyčerpání zmenší počet datových paketů na transakci. Koncový bod zařízení musí oznamovat připravenost, jinak ho hostitel odstraní ze seznamu aktivních.

USB 3.0 vylepšuje hromadný přenos o model vícenásobného toku, viz obrázek 2-2. Každému toku je přiřazeno SID. Když jsou data na toku připravena, pošle hostitel nebo zařízení potvrzení ACK TP s přiřazeným „CStream ID“, podle kterého hostitel nebo zařízení vybere koncový bod, který bude přijímat data. Pokud dojde volné místo ve vyrovnávací paměti nebo jsou přenesena všechna data, tok je ukončen.



Obrázek 2-2 Vícenásobný datový tok přes jednu komunikační rouru hromadného přenosu

2.5.1.3. Přerušovací přenos

Vysoce spolehlivý přenos malých dat s ohraničeným servisním intervalem zaručuje přerušovací přenos. Poskytuje garantovaný maximální servisní interval a zaručené opakování přenosu

v dalším servisním intervalu. Požadavky na vlastnosti servisního intervalu jsou určeny v popisu koncového bodu. Dokud koncový bod nepotvrdí připravenost, hostitel se nepokouší posílat další data. Data se přenáší v jednosměrné proudové rouře a jejich struktura není přesně určena.

Maximální velikost užitečných dat je určena podle vyrovnávací paměti, s velikostí jedna je maximální velikost užitečných dat v rozmezí 1 až 1024 bytů a s větší než jedna (největší velikost vyrovnávací paměti je 3) je 1024 bytů. Proto se v každém servisním intervalu mohou přenášet maximálně tři pakety s velikostí 1024 bytů, celkem tedy 3072 bytů. Přerušovací přenos je ukončen jednou z možností:

- bylo přeneseno určité množství dat
- byl přenesen paket menší než maximální velikost užitečných dat
- odpověď s STALL potvrzením nebo vyčerpání limitu pro opakování přenosů

Přerušovací přenos může zabrat až 80% celkové kapacity kanálu. Servisní interval je vypočítán z $2^{(bInterval-1)} \times 125 \mu s$, kde $bInterval$ požaduje koncový bod a je v rozmezí 1 až 16, ale může být zkrácen/zvětšen systémem při úspěšném/neúspěšném potvrzování dat.

2.5.1.4. Izochronní přenos

Základní garantované vlastnosti izochronního přenosu jsou periodický přenos požadovanou přenosovou rychlostí s ochranným intervalem, chybová tolerance a maximální zpoždění. Hostitel už nepřenáší začátek rámce (jak u USB 2.0), ale časové informace přes ITP. Proudová roura je jednosměrná, proto pro oboustrannou komunikaci musí být vytvořeny dvě. Koncový bod izochronního přenosu má určený opakující servisní interval, ve kterém může kdykoliv přenášet data průměrně stejnou přenosovou rychlostí. Řízení spotřeby může koncový bod přepnout do nízkoenergetického stavu a tím znemožnit zpracovávání izochronních přenosů. Proto hostitel před inicializací komunikace pošle zprávu „PING“ a čeká na odpověď „PING_RESPONSE“.

Maximální velikost užitečných dat pro vyslání nebo příjem je 1024 bytů, pokud má koncový bod velikost vyrovnávací paměti větší než jedna (největší velikost vyrovnávací paměti je 16), v případě velikosti vyrovnávací paměti rovnající se jedné je maximální velikost užitečných dat v rozmezí 0 až 1024 bytů. Užitečná data mohou být při přenosu menší a nemusí být doplněna, ale pokud jsou větší než maximálně podporovaná, musí být rozdělena do dalšího servisního intervalu. Hostitel musí podporovat všechny kombinace velikostí užitečných dat a velikostí vyrovnávacích pamětí.

Stejně jakou u přerušovacího přenosu, izochronní přenos může zabrat až 80% celkové kapacity kanálu. Servisní interval je vypočítán z $2^{(bInterval-1)} \times 125 \mu s$, kde $bInterval$ určuje koncový bod a je v rozmezí 1 až 16. Systém použije tyto informace k určení, jestli může být koncový bod připojen k hostiteli. V každém servisním intervalu může koncový bod izochronního přenosu přenést 3 sběrníkové transakce, celkově tedy maximálně 49 152 bytů ($3 \times 16 \times 1024B$) užitečných dat. Mezi pokusy o transakce by koncový bod neměl vkládat pevně určené mezery.

V případě, že si hostitel vyžádá data, musí koncový bod odpovědět s daty nebo paketem s nulovou délkou. Jelikož izochronní přenos není potvrzován, nemohou být data v případě chyby znovu opakována. V každém servisním intervalu se začíná přenos paketu s pořadovým číslem 0, po úspěšném odeslání se pořadové číslo postupně zvětšuje na maximální hodnotu, která je 31, poté se opět pokračuje od 0.

2.6.1. Transakční přenosy

Transakční přenosy jsou inicializovány hostitelem, který buď požádá, nebo pošle data koncovému bodu na zařízení. Hostitel může vytvořit jednu nebo více výstupních transakcí pro jeden nebo více koncových bodů, které čekají na dokončení aktuální transakce. Avšak další vstupní transakce nemohou být inicializovány, dokud hostitel neobdrží:

- DP, NRDY, STALL TP nebo nevyprší čas pro aktuální ACK TP poslané do neizochronního koncového bodu
- všechny DP, které byly požadované, kratší paket než maximálně podporovaný, DP se značkou posledního paketu nebo nevyprší limit pro aktuální ACK TP poslané do izochronního koncového bodu

Odpovědi neizochronního koncového bodu při platných transakcích mohou být:

- transakční paket NRDY
- transakční paket ACK v případě výstupní transakce
- jeden nebo více datových paketů v případě vstupní transakce
- transakční paket STALL, pokud dojde k vnitřní chybě

Koncový bod odpovídá vždy jen hostiteli, který je odpovědný za plánování vstupních a výstupních transakcí, prioritního řízení a spravedlivého přístupu na sběrnici. Transakce nejsou vysílány všem, ale přesně určeny pro koncový bod zařízení.

Kromě izochronního přenosu jsou dokončeny, když zařízení pošle nebo přijme předem určený počet DP, přeneše poslední DP s nastaveným bitem EOB nebo pošle STALL paket. Izochronní přenos nemůže být nikdy přerušen.

2.6.1.1. Řídící transakce

Má minimálně dvě fáze: Setup a Status, mezi nimi může obsahovat i volitelnou datovou fázi, viz obrázek B-24. Transakci vždy začíná hostitel paketem Setup, ve kterém určuje směr a počet DP. Při čtení řídicích dat ze zařízení, hostitel pošle paket ACK TP a zařízení musí odpovědět DP, tento proces se může opakovat. Při zápisu řídicích dat, hostitel pošle DP a zařízení musí potvrdit správné doručení paketem ACK TP, tento proces se může opakovat. Celá transakce je dokončena, když hostitel pošle paket Status a zařízení odpoví paketem ACK TP. Odpovědi mohou ještě být:

- paketem ACK TP při úspěšném přijmutí správného nebo chybného DP
- paketem NRDY TP při nepřipravenosti zařízení zpracovávat další data
- paketem STALL TP při interní chybě zařízení

Kontrolní roua má jedinečnou funkci odpovědět také paketem STALL v datové nebo Status fázi, pokud je zařízení neschopné zpracovávat příkazy.

2.6.1.2. Hromadné transakce

Vstupní – zařízení posílá data hostiteli (obrázek B-25)

Hostitel připravený přijímat data pošle ACK TP paket do zařízení, ve kterém určí očekávané sekvenční číslo paketu (první datový paket začíná sekvenčním číslem nula) a předpokládaný počet přijatých paketů. Zařízení nemusí čekat na potvrzení a může po odeslání DP posílat další DP, sekvenční číslo DP se zvětšuje od 0 do 31, poté začíná opět od 0. Po každém úspěšném přijetí DP musí hostitel odpovědět ACK TP paketem. Pokud hostitel přijme chybný DP, odpoví ACK TP paketem se sekvenčním číslem špatného DP a s nastaveným opakovacím bitem. Zařízení musí poslat znovu všechny DP od sekvenčního čísla špatně doručeného DP.

Přenos je dokončen, pokud:

- bylo přeneseno požadované množství paketů
- poslední datový paket byl kratší než maximálně podporovaná velikost
- poslední datový paket má nastavený bit „End Of Burst“

Hostitel poté čeká na ERDY TP paket, aby znovu zahájil přijímání DP od zařízení.

Výstupní – hostitel posílá data zařízení (obrázek B-26)

Hostitel s připravenými daty začne komunikaci posláním prvního DP se sekvenčním číslem 0 a pokračuje dalšími DP, sekvenční čísla DP se zvětšují od 0 do 31, poté začínají opět od 0. Zařízení na každý správně přijatý DP musí odpovědět ACK TP paketem, pokud přijme špatný DP, odpoví jeho sekvenčním číslem s nastaveným bitem opakování. Hostitel musí poslat znovu všechny DP od sekvenčního čísla špatně doručeného DP. Až hostitel přeneseme všechny DP, přenos je dokončen, ale poslední DP nemusí mít menší délku než je maximální podporovaná a dokončení tedy nemusí být žádným způsobem signalizováno. Když chce hostitel opět posílat data, začne přenos DP s pokračujícím sekvenčním číslem.

2.6.1.3. Přerušovací transakce

Vstupní – zařízení posílá data hostiteli

Hostitel začne přerušovací transakci vysláním paketu ACK TP do koncového bodu zařízení, ve kterém určí očekávané sekvenční číslo paketu (první DP začíná sekvenčním číslem nula) a předpokládaný počet přijatých DP, počet závisí na velikosti vyrovnávací paměti koncového bodu. Zařízení musí vždycky čekat na přijetí potvrzení. Zařízení může odpovědět těmito způsoby:

1) Zařízení má připravená data a pošle je jako odpověď. Hostitel každý úspěšně přijatý paket potvrdí ACK TP paketem, viz obrázek B-27.

2) Zařízení pošle připravená data jako odpověď, ale místo úspěšného potvrzení hostitel detekuje chybu při přenosu, a proto pošle ACK TP paket s nastaveným opakovacím bitem. Zařízení opakuje přenos stejného datového paketu, viz obrázek B-28.

3) Zařízení nemá připravená žádná data, a proto odpoví NRDY paketem. Jakmile má připravená data k přenosu, pošle ERDY TP paket a počká (minimálně dvojnásobek bIntervalu), až mu hostitel pošle žádost ACKT TP. Poté pokračuje posílání DP, viz obrázek B-29.

4) Zařízení odpoví paketem STALL TP signalizující chybu na zařízení a tím přeruší celou přerušovací transakci, viz obrázek B-30.

Výstupní – hostitel posílá data zařízení

Pokud má hostitel připravená data a chce začít přerušovací transakci, pošle první DP s očekávaným sekvenčním číslem (první datový paket začíná sekvenčním číslem nula), v servisním intervalu může poslat i více DP, počet závisí na velikosti vyrovnávací paměti koncového bodu. Zařízení může odpovědět těmito způsoby:

1) Zařízení musí odpovědět ACKT TP paketem, pokud správně přijme data. Hostitel může pokračovat dalším datovým paketem, v případě že má data k odeslání, viz obrázek B-31.

2) Zařízení není připraveno na přijetí dat, proto odpoví NRDY paketem, hostitel zastaví přenos a čeká na paket ERDY TP. Jakmile je zařízení připraveno k přijetí dat, pošle ERDY TP paket. Hostitel počká minimálně dvojnásobek bIntervalu a poté znovu pošle datový paket. Zařízení po úspěšném přijetí potvrdí ACT TP paketem, viz obrázek B-32.

3) Zařízení po přijetí datového paketu detekovalo chybu, proto odpoví ACK TP paketem s nastaveným opakovacím bytem. Hostitel znovu pošle stejný datový paket. Po úspěšném přijetí dat zařízení odpoví ACT TP paketem, viz obrázek B-33.

4) Zařízení odpoví paketem STALL TP signalizující chybu na zařízení a tím přeruší celou přerušovací transakci, viz obrázek B-34.

2.6.1.4. Izochronní transakce

Vstupní – zařízení posílá data hostiteli

Hostitel připravený přijímat data pošle ACK TP paket, na který zařízení odpoví jedním nebo několika datovými pakety, počet závisí na velikosti vyrovnávací paměti koncového bodu. Odpověď musí prázdným paketem, pokud nemá připravená žádná data. Data nejsou žádným způsobem potvrzována, proto nemůže dojít k opakování přenosu, viz obrázek B-35.

Výstupní – hostitel posílá data zařízení

Hostitel začne posílat data bez předešlého upozornění, zařízení musí v intervalu N být připraveno na přijetí DP, počet závisí na velikosti vyrovnávací paměti koncového bodu. Hostitel neposílá žádné DP, pokud nemá připravená data. Data nejsou opět žádným způsobem potvrzována, proto nemůže dojít k opakování přenosu, viz obrázek B-36.

3. Certifikované bezdrátové USB

3.1. Základní informace

Od počátku vývoje se USB vždy orientovalo jen na komunikaci pomocí kabelového spojení. Potřeba bezdrátové rychlé komunikace, nahrazující stávající kabelové spojení, donutila výrobce k vývoji bezdrátové technologie, která by bez rozdílu nahrazovala USB 2.0, byla nízkoenergetická (~250 mW, umožňuje režimy – pohotovostní, zapnutý a přerušovací) a měla levné výrobní náklady. Vzniklo seskupení firem Agere System, Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, Nec Corporation, Philips a Samsung, které vydalo specifikaci „Certified Wireless USB 1.0“ (Certifikovaného bezdrátového USB 1.0) v květnu roku 2005 a zatím poslední revizi Certifikovaného bezdrátového USB 1.1 v září roku 2010, která nemusí být se specifikací WUSB 1.0 kompatibilní. Teoretická přenosová rychlost do vzdálenosti 3m od hostitele je 480 Mbit/s, tedy stejná jako u USB 2.0. Se zvyšující se vzdáleností přenosová rychlost rapidně klesá, při maximálně dovolené vzdálenosti 10 m je pouze 110 Mbit/s, proto je velice důležité používat zařízení co nejbližší k hostiteli, viz obrázek C-5. Tato nevýhoda je ale přínosná k zajištění bezpečnosti při přenosu, protože komunikace nemůže být odposlouchaná na velké vzdálenosti. WUSB je určené pro všechny přístroje, které potřebují bezdrátově přenášet data. Díky své vysoké přenosové rychlosti a jednoduchosti najde uplatnění téměř všude – přenosová datová uložiště, tiskárny, digitální fotoaparáty, digitální kamery, mobilní telefony, mp3 přehrávače, apod., viz obrázek C-1.

Základní částí celého WUSB systému je hostitel, který řídí komunikaci se všemi zařízeními. Určuje rádiovou skupinu, připojuje WUSB zařízení, přiděluje jim časové úseky v přenosovém pásmu (přenosovou rychlost) a stanovuje další parametry pro bezdrátovou komunikaci. K WUSB hostiteli se může najednou připojit až 127 zařízení. Protože vše probíhá bezdrátově, odpadá potřeba rozšiřování fyzických portů a tím použití USB hubů, pro které už není ani softwarová podpora - neexistuje třída hub. Vznikla nová třída pro DWA zařízení umožňující nahrazení kabelového spojení. Softwarově se chová stejně jak zařízení připojené přes rozhraní USB 2.0, ale přenos dat je bezdrátový, viz obrázek C-2.

Zařízení se připojují k hostiteli, od kterého získají konfigurační parametry pro bezdrátový přenos. Speciálním typem je WUSB DRD, které podle potřeby mění svoji funkci – může být zařízením a připojit se k hostiteli, ale také může být hostitelem a připojovat zařízení. Vhodným příkladem je digitální fotoaparát, který se může připojit k hostiteli – počítači a přenést fotky, nebo se k němu může připojit tiskárna, aby získala a vytiskla fotografie, viz obrázek C-3.

Bezdrátová komunikace je zabezpečena šifrováním AES-128 a používá symetrické připojení – hostitel ověřuje zařízení a zařízení ověřuje hostitele. Výrobce zařízení může zvýšit zabezpečení zavedením šifrování do softwarové aplikace. Široká veřejnost nazývá bezdrátové USB zkratkou WUSB, avšak tato zkratka podle USB vývojového fóra není přesná a měl by se raději používat název „Certified Wireless USB“ (Certifikované bezdrátové USB), protože někteří výrobce označují zařízení WUSB, i když komunikuje přes jinou bezdrátovou technologii. V této diplomové práci zkratka WUSB bude vždy znamenat „Certified Wireless USB“ (Certifikované bezdrátové USB).

3.2. Fyzická vrstva

Certifikované bezdrátové USB, jak již z názvu vyplývá, využívá bezdrátovou technologii pro přenos dat. Základem bezdrátové technologie je šíření elektromagnetických vln, charakteristických zejména svou frekvencí a od ní odvozenou vlnovou délkou v elektromagnetickém spektru. Do elektromagnetického spektra patří i viditelné světlo, proto i pro bezdrátovou technologii platí podobná pravidla, může se odrážet od překážek, některými materiály procházet, směřovat a podobně.

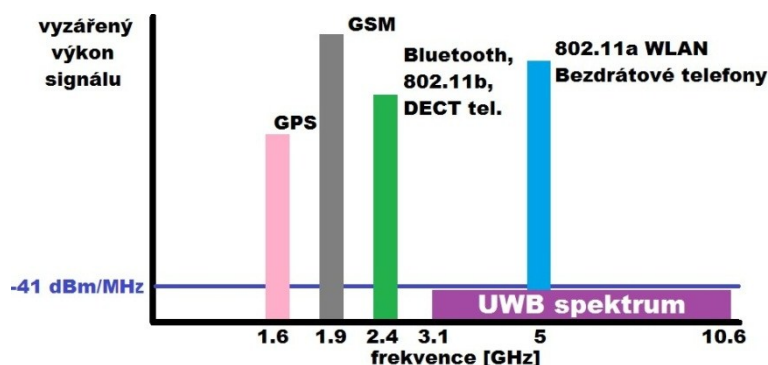
Certifikované bezdrátové USB je založeno na platformě UWB. Pomocí širokého frekvenčního spektra od 3.1 GHz do 10.6 GHz můžeme přenášet velké množství dat. Specifikace WUSB 1.0 musí podporovat pásmo skupin 1, ale revize WUSB 1.1 musí podporovat pásmo skupin 3 a 6, viz obrázek C-6. Změna podporovaných pásem skupin může způsobit nekompatibilitu, protože zařízení WUSB 1.1 musí podporovat pásmo skupinu 3 a 6, které hostitel WUSB 1.0 nemusí podporovat. K hostiteli WUSB 1.1 se mohou připojit zařízení WUSB 1.0 i WUSB 1.1, protože musí podporovat pásma skupin 1, 3 a 6 – pokud to dovolují vnitrostátní předpisy. Celý přenos je založen na principu OFDM do vzdálenosti 10 metrů.

Fyzická vrstva používá přenosové rychlosti 53.3, 80, 106.7, 200, 320, 400 a 480 Mbit/s, detekci chyb a pravidla pro opravu chybně přijaté hlavičky, proto vytváří robustní komunikační kanál. Hostitel musí podporovat všechny přenosové rychlosti, ale zařízení jen 53.3, 106.7 a 200 Mbit/s, ostatní jsou volitelné. Formát rámce fyzické vrstvy začíná úvodní částí PLCP pro paketovou, rámcovou a kanálovou synchronizaci, následuje PHY hlavička s určením přenosové rychlosti, délky paketu a další informacemi, viz obrázek C-4.

3.2.1. UWB

V roce 2002 bylo uvolněno frekvenční pásmo šířky 7.5GHz (3.1 – 10.6 GHz) pro provoz komerčních ultra-širokých komunikačních systémů – UWB. UWB je podle FCC a ITU-R definovaná jako komunikační systém, jehož frekvenční šířka převyšuje buď 500MHz nebo 20 % střední frekvence antény. Autorem je WiMedia Alliance, která má více než 350 členů, z nichž nejznámějším je bezesporu Samsung, Olympus Communication nebo Cambridge Silicon Radio. Používá se nízké vysílací úrovně energie (výkonová spektrální hustota na 1 MHz nesmí překročit hodnotu -41.25 dBm, viz obrázek 3-1) s využitím velkého rádiového spektra, proto by tato technologie neměla rušit výkonově silnější úzkopásmové sítě, ani bezdrátové technologie používající spojitě nosné vlny, které jsou ve stejném frekvenčním pásmu. Nicméně první studie ukazují, že nárůst rušení se zvětšujícím se počtem UWB vysílačů zatěžuje existující komunikační služby.

Frekvence opakování pulzů může být nízká nebo vysoká. Pulzně založené UWB radary a zobrazovací zařízení zpravidla používají nízkou frekvenci pulzů, typicky v rozsahu od 1 do 100 MHz za vteřinu. Systémy s vysokou frekvencí pulzů, typicky v rozsahu od 1 do 2 GHz za vteřinu, umožňují vytvoření přenosového spojení s krátkým dosahem a přenosovou rychlostí v řádu Gbit/s, viz obrázek C-5.



Obrázek 3-1 Využití frekvenčního spektra různými technologiemi a jejich vysílací výkon

Hlavní rozdíl mezi klasickým rádiovým přenosem a UWB rádiovým přenosem je přenos informací radiovým vysíláním generovaným v určitý čas a zabírajícím široké frekvenční pásmo, což umožňuje použít pulzně-poziční nebo časovou modulaci oproti klasické úroňové, frekvenční a/nebo fázové modulaci sinusové nosné vlny. Informace může být také modulována na UWB signál zakódováním polaritry nebo amplitudy pulzu. Hlavní výhoda UWB je možnost určení trvání přímého přenosu pulzu mezi vysílačem a přijímačem na různých frekvencích. Dalším hodnotným aspektem UWB je, že pulzy jsou v prostoru velmi krátké (méně než 60 cm pro frekvenci 500 MHz a méně než 23 cm pro frekvenci 1,3 GHz), takže většina odrazů nepřekrývá originální pulz a díky tomu neexistuje mnohocestné slábnutí signálu v úzkém pásmu. Nicméně stále existuje rušení mnohocestným vysíláním pro rychlopulzní systémy, které musí být zmírněno kódovacími technikami.

Standard IEEE P802.15.3a předpokládá rozdělení frekvenčního pásma UWB 3.1–10.6 GHz na 14 skupin šířky 528 MHz, každá s přenosovou rychlostí až 480 Mbit/s. Využití skupiny je závislé na vnitrostátních omezeních, proto vzniklo nové pásmo skupin 6, které zahrnuje nejvíce použitelných skupin v různých regionech, viz obrázek C-6.

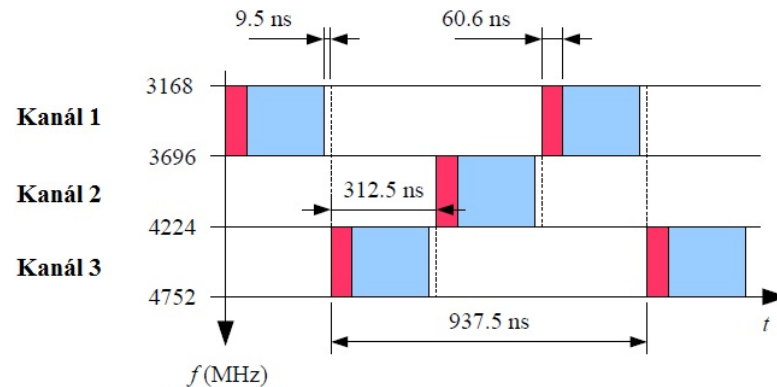
3.2.2. OFDM

OFDM je širokopásmová modulace využívající kmitočtové dělení kanálu tzv. rozprostřeným spektrem, kdy signál je vyslán na více nezávislých frekvencích, což zvyšuje odolnost vůči interferenci. Modulační metoda OFDM spočívá v použití několika stovek až tisíců nosných kmitočtů. Nosné jsou modulovány modulacemi QPSK (do přenosové rychlosti 200 MBit/s) nebo DCM (přenosová rychlost od 320 do 480 MBit/s), viz tabulka C-1.

Jednotlivé nosné jsou vzájemně ortogonální, takže maximum každé nosné by se mělo překrývat s minimy ostatních, viz obrázek C-7.

Datový tok celého kanálu se dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných. Toky jednotlivých nosných jsou malé, a proto je možné před každý OFDM symbol vkládat cyklický prefix délky 60.6 ns, který dodává OFDM symbolu odolnost proti vícecestnému šíření. Za OFDM symbolem je ochranný interval délky 9.5 ns při kterém dochází k přepnutí kanálu, viz obrázek 3-2. Na přijímací straně je možné nerušeně přijmout (právě) vysílaný symbol, i když přichází k přijímači více cestami s

různým zpožděním. Stejný symbol přijatý vícekrát s různým zpožděním může odpovídat i více vysílačům. Přijímané výkonové úrovně více vysílačů resp. odrazů se na přijímací straně do jisté míry sčítají.



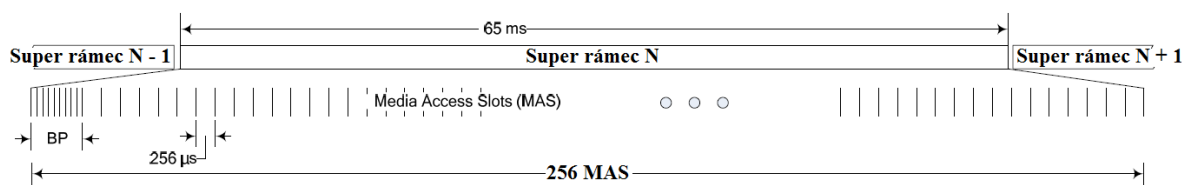
Obrázek 3-2 Rozdělení datového toku do více frekvenčních skupin [9]

Každý OFDM symbol je dlouhý 312.5 ns a obsahuje 100 datových značek, každá s šířkou 4 MHz. Základní datovou jednotku tvoří 6 OFDM symbolů s celkovou délkou 1.875 μ s.

3.3. Linková a protokolová vrstva

Linková (správný český název spojová vrstva) je 2. vrstva modelu vrstvé sítě architektury (OSI). Řadí přenášené rámce, řídí parametry přenosové linky, signalizuje neopravitelné chyby, formátuje fyzické rámce a přiřazuje k nim hlavičku. Má dvě podvrstvy – MAC a LLC. MAC podvrstva zajišťuje adresování, řízení přenosu (přenosové kapacity) a je hardwarově závislá. LLC podvrstva se stará o multiplexaci/demultiplexaci protokolů z MAC podvrstvy, řídí tok dat (potvrzováním přijatých dat), zabezpečuje data proti chybám a není hardwarově závislá.[17]

Kanálový čas MAC vrstvy se skládá ze super rámců, které mají délku 65ms. Super rámce jsou ještě rozděleny do 256 MAS o délce 256 μ s. Prvních několik MAS v super rámci je určených pro BP, viz obrázek 3-3.



Obrázek 3-3 Rozdělení kanálového času WUSB 1.1

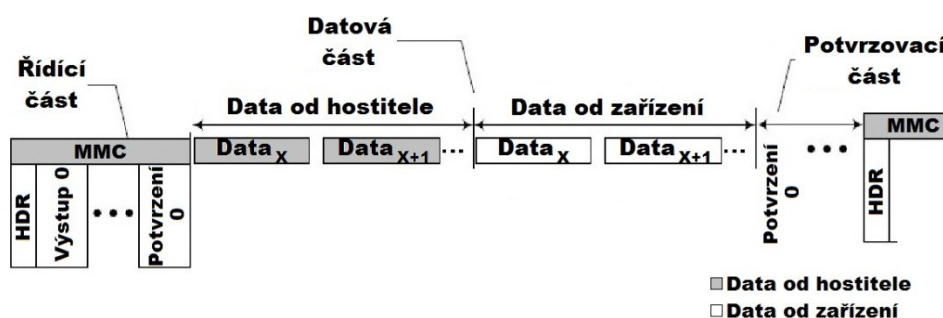
DRP rezervuje MAS pro sekvence řízené MMC. Přenos dat je zajištěn MMC s MS-CTAs, MMC bez MS-CTA vysílají pouze řídicí instrukce a informace, viz obrázek C-8. Průběžné opakování zajišťuje dynamickou alokaci MAS a tím i přidělování kanálového času zařízením.

Formát rámce protokolové vrstvy začíná nezabezpečenou hlavičkou MAC vrstvy, která definuje zdrojovou adresu, cílovou adresu a další potřebné informace ke správnému adresování. Následují ověřená data, obsahující další pole (identifikace použitého klíče k zabezpečení aplikačních dat, číslo zabezpečeného rámce,...) a užitečná aplikační data, které jsou zabezpečeny, viz obrázek C-9.

3.3.1. Přenos dat

Základ přenosu dat WUSB 1.1 je odvozený ze specifikace USB 2.0, zahrnuje stejné typy datových přenosů, rozhraní a řízení, ale je zdokonalený pro rychlejší obsluhu více zařízení. Největším rozdílem od USB 2.0, který přenáší data jen jedním směrem, je oboustranná komunikace se všemi aktivními zařízeními v jedné přenosové skupině, viz obrázek C-10.

Přenosová skupina se skládá z 3 částí – řídicí, datové a potvrzovací, viz obrázek 3-4. Řídicí část MMC je nejdůležitější, protože nese informace o identifikaci hostitele, časovou značku, čas dalšího MMC, informace kdy mohou jednotlivá zařízení data posílat/přijímat a potvrzení přijatých dat hostitelem, viz obrázek C-11. Datová část obsahuje data pro a od zařízení v přesně určených časech dle řídicích informací z MMC, poslední část je určena pro potvrzování přijatých dat zařízeními, viz obrázek 3-4.

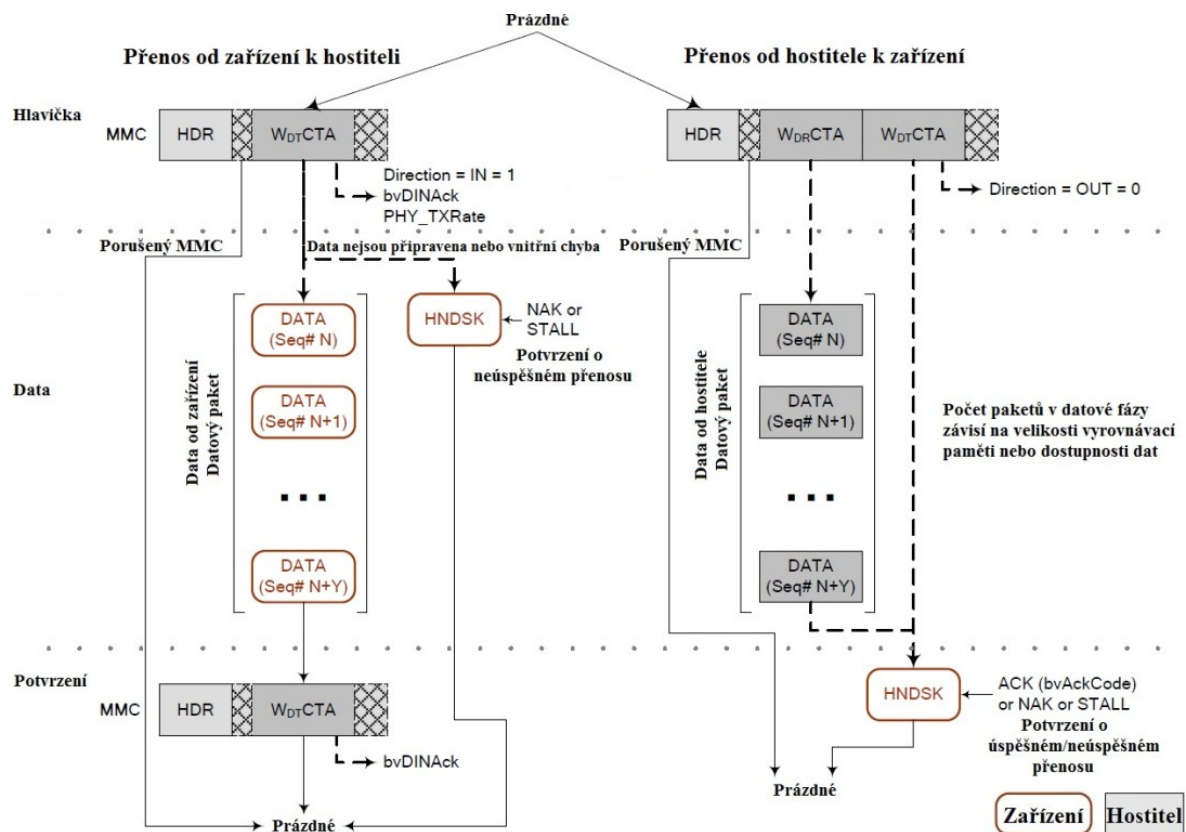


Obrázek 3-4 Rozdělení přenosové skupiny pro více zařízení

3.3.2. Typy datových přenosů

Drátové i bezdrátové verze USB, tedy i WUSB 1.1, používají 4 druhy datových přenosů. Liší se garancí přenosové rychlosti, zpožděním, variabilitou zpoždění nebo zabezpečením doručení dat. Proto je každý druh přenosu určen pro různé použití.

Všechny typy přenosů mají stejný základní přenosový formát, který obsahuje všechny potřebné komponenty k měření chyb a opakování přenosu v případě chyby, viz obrázek 3-5. Transakce se skládá z 3 fází: záhlaví, data a potvrzení. Výjimkou jsou kontrolní a zastavené přenosy, které mohou mít jen 2 fáze pro udržení transakce. Záhlaví MMC a potvrzení musí být přenášeno základní přenosovou rychlostí. Datová fáze může být přepravena jakoukoliv podporovanou přenosovou rychlostí.



Obrázek 3-5 Základní přenosový formát pro všechny přenosy

Když je hostitel připraven přijmout data, určí v MMC kanálový čas pro W_{DTCTA}, ve kterém může zařízení vysílat. V případě, že zařízení nemá připravená data nebo nastane nějaká vnitřní chyba, signalizuje potvrzením NAK nebo STALL neúspěšnost přenosu. Potvrzovací informace se vkládá až do dalšího záhlaví, tím se šetří kanálový čas, protože se nemusí potvrzovat každá datová fáze.

Pokud hostitel chce posílat data, připraví kanálové časy v MMC pro dva bloky W_{xCTA} (W_{DRCTA}, W_{DNTSCTA}). V bloku W_{DRCTA} přenáší data k zařízení a v bloku W_{DNTSCTA} přijme potvrzení o úspěšnosti/neúspěšnosti přenosu. Jestliže není dostatečná kapacita v aktuálním kanálovém pásmu pro oba bloky, může host rezervovat blok W_{DNTSCTA} v dalším MMC. V případě chyby v MMC, zařízení nepošle žádné potvrzení.

V ostatních případech pošle jedno ze 3 potvrzení:

- 1) ACK potvrzuje správné přijetí dat.
- 2) NAK označuje, že koncový bod nepřijmul všechna data. To nastává v případě dočasné podmínky (např. plné vyrovnávací paměti). Hostitel později opakuje pokus o přenos dat.
- 3) STALL se používá u hromadných a přerušovacích přenosů, kdy koncový bod upozorňuje na zastavení přenosu a hostitel se nepokouší znovu posílat data.

Při neúspěšném doručení potvrzení hostiteli, zařízení musí opakovat přenos potvrzení ještě před datovou fází.

3.3.2.1. Řídící přenos

Každé zařízení musí podporovat základní řídící rouru („Default Control Pipe“), určenou pro komunikaci pomocí zprávy, která přenáší pouze strukturovaná data. Tato roura slouží pro inicializaci, nastavení nebo např. k získání popisu zařízení. Klientský software nemůže určit frekvenci přístupů nebo přenosovou rychlost pro řídící informace, ale systémový software je může omezit, přenášeny jsou nejrychlejší možností - „best effort“.

Maximální velikost užitečných dat pro řídící koncové body je pevně určena na 512 bytů a velikost vyrovnávací paměti je 1. Toto platí pro všechna data, která jsou poslána přes řídící přenos. Hostitel musí vždy zvolit základní přenosovou rychlost PHY vrstvy (53.3 MBit/s) pro WUSB normované požadavky na základní řídící rozhraní, ale pro všechny ostatní řídící přenosy může použít jinou přenosovou rychlost. Tato pravidla neplatí pro speciální řídící požadavek DATA_LOOPBACK_READ and DATA_LOOPBACK_WRITE, který může být větší než 512 bytů a přenášen jinou než základní přenosovou rychlostí. Hostitel musí u posledního paketu nastavit bit signalizující poslední paket, protože data mohou mít různou délku.

Řídící přenos se skládá ze tří fází začínající fází SETUP, která popisuje akci na zařízení. Po ní následuje žádná nebo několik datových fází, které obsahují dodatečné informace. Nakonec se přenesou potvrzovací informace, která ukončí přenos a hostitel může vyslat další řídící přenos.

Fáze SETUP je v MMC (vylepšení oproti USB 2.0, kde byla fáze SETUP oddělena ve výstupní transakci), kde popisuje transakci pro další fázi W_xCTA (určuje kanálový čas, kdy bude data hostitel vysílat nebo přijímat). Dalším vylepšením je potvrzovací fáze, která je vždycky zakódovaná ve fázi $W_{DT}CTA$ přes pole $bvDINack$, viz obrázek C-12.

3.3.2.2. Hromadný přenos

Je navržen pro přenos velkých bloků dat v různém čase při použití veškeré volné přenosové kapacity pásma. Garantuje správné doručení dat pomocí opakování přenosů v případě chyb, ale nemůže zajistit určitou přenosovou rychlost nebo zpoždění. Základ je ve využití neobsazené kapacity pásma, čím dosahuje velké přenosové rychlosti, ale v systémech s malým volným pásmem může být i pomalejší než ostatní druhy přenosů. Data jsou přenášena pomocí proudových rour, ale vždy jen jedním směrem, proto pro oboustrannou komunikaci se musí vytvořit dvě komunikační roury.

Koncový bod hromadného přenosu dovoluje největší velikosti užitečných dat v rozmezí 512 až 3584 bytů, násobky celého čísla s 512 (např. 1024, 2048, 3072) a maximální velikost vyrovnávací paměti je 1 až 16. Hostitel při hromadném přenosu dat k zařízení může uplatnit největší přenosovou rychlost, kterou zařízení podporuje, ale hostitel může zařízení určit přenosovou rychlost vysílaných dat, maximálně kterou zařízení podporuje. Hostitel musí podporovat všechny přenosové rychlosti, velikosti užitečných dat a vyrovnávacích pamětí. Zařízení musí signalizovat připravenost koncového bodu, aby hostitel mohl začít posílat data. Pokud se přeneslo předem určené množství dat nebo byl poslán paket s nastaveným bitem posledního paketu, je hromadný přenos ukončen.

Koncový bod hromadného přenosu nemůže žádným způsobem požadovat frekvenci přístupu nebo přenosovou rychlost. WUSB poskytuje dobrý výkon - „good effort“ při přenosu. Řídící přenos má přednost před hromadným přenosem, ale nemusí to platit vždy. Hostitel spravedlivě přiřazuje kapacitu volného pásma všem koncovým bodům, přenášejících hromadným přenosem, v případě že nemá volnou kapacitu, může rozšířit WUSB kanál rezervováním většího kanálového času MAC vrstvy nebo zmenšením dat na transakci pro jednotlivé zařízení.

3.3.2.3. Přerušovací přenos

Používá se pro občasný přenos malých dat, ale v co nejkratším čase (garantuje maximální čas, ve kterém je požadavek obsloužen). Podporuje až pětinasobné opakování vysílaných dat v případě nedoručení nebo chyby přes servisní intervaly. Opakování je zaručeno jen v případě detekování chyby – potvrzením nesprávného přenosu, pokud zařízení neodpovídá, jsou odloženy další pokusy. Pro přerušovací přenos je rezervovaná část pásma WUSB. Nemá přesně definovanou strukturu dat a proudová roura je jednosměrná, proto pro oboustrannou komunikaci se musí vytvořit dvě komunikační roury.

V nízkoeenergetickém přerušovacím přenosu koncový bod nemusí sledovat každé vstupní záhlaví a tím maximálně šetří energii, stačí, když vyšle potvrzení NAK na konci každé „TrustTimeout“ periody - časový interval, kdy je zařízení v úsporném režimu. Jestliže zařízení neodpoví ve stanoveném limitu, riskuje zastavení komunikace nebo odpojení hostitelem. Hostitel nemůže použít zprávu „Keepalive“, když je koncový bod v aktivním stavu.

Maximální velikost užitečných dat přijatých nebo odeslaných je 1024 bytů, v nízkoeenergetickém režimu 64 bytů. V obou režimech má vyrovnávací paměť hodnotu 1. Hostitel nebo zařízení podporující přizpůsobení velikosti přenášených dat nemusí data doplňovat do udávané maximální velikosti. Hostitel může přenášet data jakoukoliv podporovanou přenosovou rychlostí zařízení a může mu určit, jakou rychlostí má data vysílat, maximálně tou, kterou podporuje. Ukončení transakce je signalizováno přenesením paketu s nastaveným bitem posledního paketu, potvrzením STALL nebo vyčerpáním počtu opakování v důsledku chyb v WUSB kanálu se zastaví komunikace.

Přerušovací přenosy mohou mít přiděleno maximálně 80% WUSB kanálu. Hostitel dovoluje využít navíc 20% kanálového času vyhrazeného pro hromadné a kontrolní přenosy, k zabránění selhání proudové roury. Koncový bod určuje délku servisního intervalu mezi 4.096 to 4194.304 ms. Servisní interval zabraňuje malým rozdílům kódování USB 2.0 používající MAC vrstvy s jednotkou 256 ms.

Koncový bod, který obdržel žádost o data a nemá žádná k přenosu, musí poslat potvrzení NAK, ale v nízkoeenergetickém režimu odpovídat nemusí. Když hostitel přijme žádost o řízení toku, musí automaticky pokračovat v přenosu v dalším servisním intervalu.

3.3.2.4. Izochronní přenos

Slouží pro opakovaný přenos s garantovaným konstantním tokem dat po celou dobu přenosu, omezeným zpožděním a chybovou tolerancí s minimálně jedním opakováním přenosu přes servisní interval. Pro možné opakovací přenosy se musí rezervovat navíc minimálně 30% požadované přenosové rychlosti. Proudová roura je jako u ostatních přenosů (kromě řídicího přenosu) jednosměrná, a proto při oboustranné komunikaci musí být vytvořené dvě proudové roury.

Maximální velikost užitečných dat přijatých nebo odeslaných je 3584 bytů a největší velikost vyrovnávací paměti je mezi 1 až 16. Koncový bod také musí oznámit požadované meze servisního intervalu. Dohromady tyto všechny vlastnosti určují průměrnou přenosovou rychlost potřebnou pro izochronní koncový bod, který nesmí poskytnout informaci o své největší přenosové rychlosti. Hostitel automaticky rezervuje kanálový čas pro opakující přenosy.

Servisní interval pro koncový bod je omezen přenosovou rychlostí 40 MBit/s, nejvíce tedy může přenést 21475 bytů v servisním intervalu. Maximální velikosti paketu a vyrovnávací paměti se určuje dle potřeby rozsahu přenášených bytů v servisním intervalu, viz tabulka C-2. Data nemusí být před přenosem rozšiřována do určené maximální velikosti paketu.

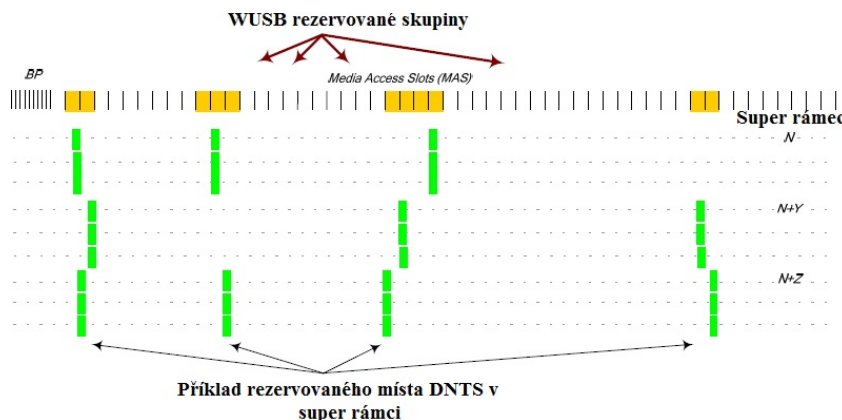
WUSB systém opakovaně testuje přenosový kanál s maximálními parametry izochronního koncového bodu, aby mu zaručil dostačující potřebnou kapacitu. Hostitel může přenášet data jakoukoliv podporovanou přenosovou rychlostí zařízení a může zařízení určit, jakou rychlostí má data vysílat, maximálně tou, kterou podporuje.

Koncové body mohou rezervovat více než 80% WUSB kanálového času a určit potřebný servisní interval v rozmezí 4.096 až 4194.304ms. WUSB kanál standardně dovoluje servisní interval 4.096ms, ale může se změnit podle počtu dalších WiMedia zařízení, které současně komunikují na stejném kanále. Pro zabezpečení proti proudovým chybám hostitel dovoluje dočasné zvýšení rezervace kanálového času.

Izochronní přenos používá standartní přenosový formát s potvrzením doručení pro detekci chyb a provádí pokusné přenosy kvůli testování spolehlivosti bezdrátového prostředí. Každý izochronní datový paket má v hlavičce uvedený vysílací čas. Tento údaj slouží k detekci počtu ztracených paketů. Při zaplnění vyrovnávací paměti se odstraňují nejstarší data. USB 2.0 neumožňuje potvrzování izochronního koncového bodu, a proto se nemůže datový tok zastavit. WUSB sice podporuje potvrzování, ale nikdy nemůže potvrdit hodnotou STALL k zastavení toku dat.

3.4. Bezdrátová komunikace

Každé zařízení, které chce komunikovat s hostitelem, musí nejdříve požádat o připojení. Hostitel různě rezervuje v super rámci volné sloty DNTS (obrázek 3-6), pomocí kterých může zařízení poslat žádost o připojení „*DN_Connect*“. V žádosti uvede CDID nebo požadavek na nové spojení, a pokud hostitel přijímá nové zařízení, pošle mu konfigurační parametry přes základní řídicí rouru pro vytvoření CC.



Obrázek 3-6 Příklad umístění DNTS v super rámci

Zařízení musí mít paměť na minimálně jedno CC, se kterým se může připojit k jednomu hostiteli. První spojení a vytvoření CC se musí opakovat tehdy, když se zařízení chce připojit k novému hostiteli. Nové CC nahradí stávající CC nebo se uloží do volné paměti. Hostitel je určen jedinečným číslem CHID a přidělí každému zařízení jedinečné CDID (zařízení má od každého hostitele CC s různým CDID). CHID a CDID jsou 128 bitová, proto je malá pravděpodobnost shody s jiným zařízením nebo hostitelem. Celá bezdrátová komunikace je zabezpečena šifrováním AES-128.

3.4.1. První spojení zařízení s hostitelem

Specifikace WUSB 1.0 definuje 2 způsoby navázání prvního spojení a revize WUSB 1.1, definuje také 2 způsoby, ale zásadně mění kabelový model. Hostitel musí umožňovat připojení oběma modely. Zařízení s USB 2.0 konektorem musí podporovat přidružení kabelovým modelem a zařízení s LCD displejem pomocí číslicového modelu. Zařízení musí umožňovat minimálně jeden model.

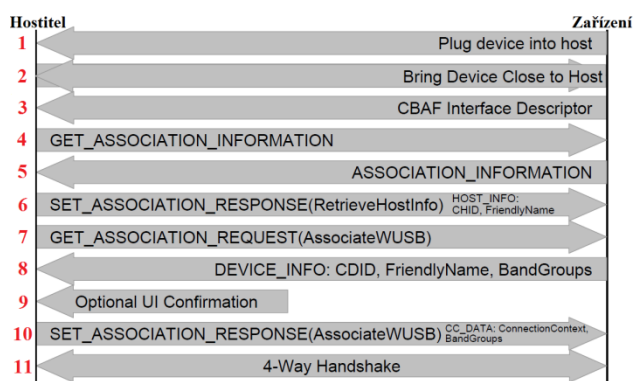
3.4.1.1. Kabelový model WUSB 1.1

Základem ve specifikaci WUSB 1.0 bylo připojení zařízení k hostiteli přes USB kabel pro konfiguraci rozhraním CBAF. Toto rozhraní zůstalo zachováno, ale revize WUSB 1.1 vylepšila model a odstranila potřebu USB kabelu, protože využívá bezdrátové technologie NFC, která přenáší data na krátkou vzdálenost 5 až 10 cm na frekvenci 13.56 MHz, a proto je odolná proti MITM. D-H

algoritmus pro vytvoření symetrického klíče více zvyšuje bezpečnost. Celá metoda je popsána níže, viz obrázek 3-7.

Postup prvního spojení kabelovým modelem:

- 1) Uživatel spustí na zařízení funkci pro přidání nového hostitele.
- 2) Uživatel přenesení zařízení k hostiteli, maximálně na vzdálenost 10 cm.
- 3) Zařízení pošle hostiteli popis rozhraní CBAF.
- 4) Hostitel pošle žádost o informace, které nastavení chce zařízení přes rozhraní CBAF nakonfigurovat.
- 5) Zařízení pošle seznam nastavení.
- 6) Hostitel pošle identifikační údaje – CHID, název,
- 7) Hostitel pošle žádost o spojovací informace.
- 8) Zařízení pošle spojovací informace – CDID, název, podporované rádiové skupiny.
- 9) Zařízení může poslat doplňující uživatelské informace.
- 10) Hostitel pošle konfigurační nastavení pro bezdrátovou komunikaci – CC.
- 11) Hostitel a zařízení si potvrdí úspěšnost přenosu dat.



Obrázek 3-7 Kabelový model prvního spojení podle revize WUSB 1.1 [9]

3.4.1.2. Číslicový model WUSB 1.0

Další způsob navázání prvního spojení je číslicový model. Z důvodu ochrany proti odposlouchávání se využívá D-H algoritmu pro vygenerování symetrického spojovacího klíče. Proti útoku MITM musí uživatel potvrdit shodnost zobrazených čísel na zařízení a hostiteli nebo zadat hostiteli zobrazené číslo na displeji zařízení. Délku tohoto čísla určuje zařízení a musí být v rozmezí 2 až 4 znaky.

Postup prvního spojení:

- 1) Uživatel spustí na zařízení vyhledávání hostitele.
- 2) Nalezením hostitele inicializuje zařízení spojovací proces, uživatel musí potvrdit na hostiteli přidání nového zařízení.
- 3) Zařízení vygeneruje nové náhodné číslo A a vypočítá hodnotu $PK_D = g^A \bmod p$. Hodnoty A a PK_D nemohou být uloženy v zařízení od výroby.
- 4) Zařízení spočítá hash kód SHA-256 ($PK_D || N_D$) a pošle ho hostiteli.
- 5) Hostitel vygeneruje nové náhodné číslo B a vypočítá hodnotu $PK_H = g^B \bmod p$. Hodnoty B a PK_H nemohou být uloženy v hostiteli od výroby.
- 6) Hostitel pošle PK_H do zařízení. Zařízení zruší spojovací proces, pokud PK_H se rovná 1 nebo $p-1$.
- 7) Zařízení pošle PK_D a N_D hostiteli. Hostitel zruší spojovací proces, pokud PK_D se rovná 1 nebo $p-1$.
- 8) Hostitel spočítá hash kód SHA-256 ($PK_D || N_D$) s přijatým hash kódem ze zařízení. V případě odlišnosti zruší spojovací proces.
- 9) Host spočítá sdílený tajný DHKEY = SHA-256($PK_D^B \bmod p$).
- 10) Zařízení spočítá sdílený tajný DHKEY = SHA-256($PK_H^A \bmod p$).
- 11) Pro ochranu MITM obě strany vypočítají hodnotu $V = \text{SHA-256}(PK_D || PK_H || \text{"počet zobrazovacích míst na zařízení"})$ a zobrazí ho na svém displeji. Uživatel musí potvrdit shodnost těchto čísel nebo uživatel zadá hostiteli číslo zobrazené na zařízení. Na potvrzení nebo zadání musí být nejméně 20 sekund a maximální čas není určen.
- 12) Po úspěšném potvrzení obě strany vypočítají CK = prvních 128 bitů z HMAC-SHA-256_{DHKEY}.
- 13) Hostitel pošle do zařízení ještě nezabezpečeně informace pro dokončení spojení (např. CHID, CDID, název hostitele apod.).
- 14) První část spojení je kompletní.
- 15) Hostitel pošle již zabezpečeně všechny potřebné informace do zařízení pro vytvoření CC.
- 16) V případě že aplikace potřebují další klíče pro jakýkoliv účel, klíče jsou vypočítány jako $KDK = \text{HMAC-SHA-256}_{\text{DHKEY}}$. KDK může být použit ihned nebo uložen v paměti pro pozdější použití.
- 17) Všechny proměnné jsou smazány kromě CC a KDK a tím se dokončí celý spojovací proces.

3.4.2. Připojení k hostiteli

Zařízení přijímá nezabezpečená MMC k identifikování hostitele a nalezení volných DNTS, ve kterých může poslat nezabezpečeně žádost o připojení „*DN_Connect*” s CDID z CC (příslušející hostiteli dle CHID v MMC). Hostitel pošle v zabezpečeném MMC potvrzení o přijetí žádosti „*ConnectAck*“ a přidělí zařízení adresu „*bDeviceAddress*“. Zařízení a hostitel si čtyřmi zprávami potvrdí úspěšnost přijetí dat. Zařízení nyní přijímá na nové adrese řídicí parametry autentifikace přes základní řídicí rouru. Po kompletní autentifikaci je proces připojení dokončen přenosem skupinového klíče pro dekodování MMC a relačního klíče pro kódování/dekodování datových a potvrzovacích paketů.

3.4.3. Opětovné připojení k hostiteli

Pokud nepřijme zařízení platný hostitelův paket během časového intervalu „*TrustTimeout*“ může ztratit spojení s hostitelem. Zařízení se dostane do stavu „*UnConnected*“ (nepřipojeno). Po přijmutí MMC od hostitele pošle ve volném DNTS žádost o připojení „*DN_Connect*” s předešlou přiřazenou adresou. Hostitel potvrdí připojení a inicializuje proces autentifikace. Po úspěšném ověření se zařízení vrátí zpět do stavu před ztracením spojení se stejnou přiřazenou adresou.

3.4.4. Odpojení od hostitele

WUSB podporuje 2 modely odpojení – implicitní a explicitní.

Explicitní model dovoluje hostiteli nebo zařízení začít proces odpojení. Hostitel inicializující odpojení pošle zařízení 3 po sobě jdoucí zprávy „*WDEV_Disconnect_IE*“ nebo „*WHOST_Disconnect_IEs*“ (pro odpojení všech zařízení). Zařízení se neprodleně přepne do stavu „*Un_Connected*“ (nepřipojeno) a tím se odstraní i z WUSB skupiny. Zařízení žádající odpojení pošle žádost „*DN_Disconnect*“ v DNTS. Počká na potvrzení odpojení „*WDEV_Disconnect_IE*“ v MMC a ujistí se nejméně dvakrát před odpojením, že hostitel nic neposílá.

Implicitní model je spojen s časovým intervalem „*TrustTimeout*“, ve kterém si zařízení a hostitel posílají potvrzovací zprávy o připojení. Způsoby potvrzování jsou odlišné a závisí na operačním stavu nebo komunikačním zatížení zařízení. Stavy, ve kterých může zařízení být:

- „**Active**“ (aktivní) – hostitel komunikuje se zařízením, data se úspěšně přenáší.
- „**Idle**“ (přerušovací) – hostitel nekomunikuje se zařízením, protože nejsou žádná data k přenosu. Nevypršel časový interval „*TrustTimeout*“ a hostitel posílá speciální zprávu „*Keepalive IE / DN_Alive*“ pro potvrzení zařízením. Úspěšným potvrzením „*DN_Alive*“ se nuluje časový interval „*TrustTimeout*“.
- „**Sleep**“ (pohotovostní) – zařízení před přechodem do stavu „*Sleep*“ musí poslat požadavek hostiteli, který nařídí zařízení časové intervaly od 10 ms do 1000 ms, ve kterých může být ve stavu „*Sleep*“. Po uplynutí se musí přihlásit hostiteli.

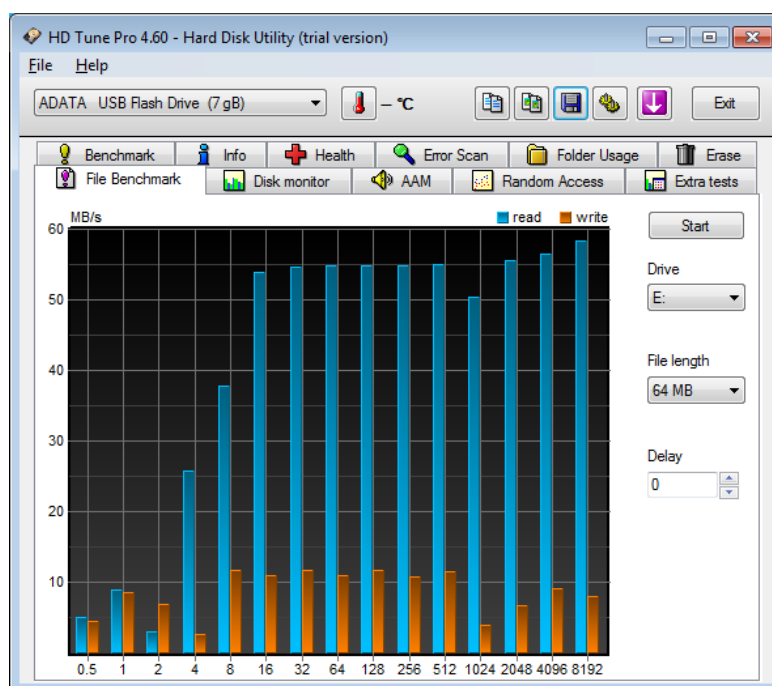
Nepotvrzením nebo ztracením komunikace se zařízení dostává do stavu nepřipojený a pro další spojení bude muset žádat o opětovné připojení.

4. Měření rychlosti a analýza navázání spojení USB

4.1. Měření přenosové rychlosti reálného USB

Teoretické přenosová rychlost vždy obsahuje i režijní přenosy, bezpečnostní intervaly, vyhrazený prostor pro určité typy přenosů, ideální podmínky apod., které při skutečné komunikaci nejsou pro nás důležité nebo jich nemůžeme dosáhnout (např. dokonalé odrušení od ostatních zařízení). Pro nás je zajímavá skutečná datová propustnost daného typu rozhraní, která je měřena v reálných podmínkách.

Pro měření průměrné přenosové rychlosti USB byl použit 15-ti denní licenční program HD Tune Pro 4.6, viz obrázek 4-1. Program obsahuje funkci pro opakovaný sekvenční zápis a čtení dat od nejmenší velikosti bloku 0.5 kB po největší 8142 kB do určené celkové velikosti, která byla zvolena 64 MB. Program je široce využíván i odbornými časopisy, proto je zde předpoklad, že jeho výsledky jsou správné. Měření bylo pětikrát opakováno pro co největší omezení vlivu operačního systému nebo ostatních programů na naměřené výsledky, ze kterých byl posléze vytvořen aritmetický průměr.



Obrázek 4-1 Program HD Tune Pro 4.60 po měření průměrné přenosové rychlosti čtení a zápisu flash disku ADATA S102 8GB připojeného na port USB 3.0

K měření byly k dispozici 3 typy zařízení - flash disk ADATA S102 8GB s USB 3.0 (obrázek D-1), flash disk Kingston DataTravel 1 GB s USB 2.0 (obrázek D-2) a SATA II disk 2.5" Western Digital Scorpio 160Gb 7200 ot/s v boxu MSI s řadičem pro převod SATA II na USB 2.0, viz obrázek D-3. Celé měření probíhalo na základní desce GIGABYTE 880GMA-UD2H (verze 2.1, viz obrázek D-4), která má interní porty 2 x USB 3.0 a 4 x USB 2.0, s procesorem AMD Athlon™ II X3 Triple-Core 415e 2,5GHz a operačním systémem Windows 7 64-bit.

Flash disk ADATA S102 8GB

Reálná přenosová rychlost portu USB 3.0 je zhruba 400 MB/s, proto u toho zařízení nebude mít rozhraní zásadní vliv na výsledek měření, který bude limitován rychlostí čtení a zápisu do flash paměti, která podle výrobce dosahuje průměrné rychlosti sekvenčního čtení 52 MB/s a sekvenčního zápisu 11 MB/s. Jiná situace je při připojení flash disku na port USB 2.0, u kterého je reálná přenosová rychlost maximálně 32 MB/s a měla by limitovat výsledky čtení.

Naměřené hodnoty čtení a zápisu na portu USB 3.0 jsou uvedeny v tabulce D-1, tabulce D-2 a v grafu D-1. Z naměřených hodnot je možno vidět velké rozdíly přenosových rychlostí u čtení malých bloků dat v rozmezí 0,5 až 16 kB, ale minimální mezi čtení bloků dat v rozmezí 16 kB až 8192 kB. Hromadný přenos má velikost užitečných dat 1 kB a maximální velikost vyrovnávací paměti 16, maximálně 16 kB v jedné sekvenci, proto není výhodné přenášet menší data. Průměrné přenosové rychlosti zápisu dat jsou velice podobné a největší podíl na výsledku má rychlost zápisu do flash paměti zařízení. Také se u nich v malé míře projevuje výhoda přenosu větších bloků dat než 8kB.

Naměřené hodnoty čtení a zápisu na portu USB 2.0 jsou v tabulce D-3, tabulce D-4 a grafu D-2, ve kterých je opět možno vidět velké rozdíly mezi čtením malých bloků dat v rozmezí velikostí 0,5 až 64 kB a minimální v rozmezí velikostí 64 až 8192 kB, které je způsobené přizpůsobení USB 2.0 přenosům větších bloků dat než 32 kB.

Rozdíly mezi průměrnými přenosovými rychlosti čtení a zápisu při připojení zařízení do portu USB 3.0 nebo USB 2.0 jsou uvedeny v tabulce 4-1, grafu D-3 a grafu D-4. Zařízení je při čtení limitováno maximální přenosovou rychlostí USB 2.0, která je z měření zhruba 30 MB/s. Důležitý je i rozdíl průměrné přenosové rychlosti čtení a zápisu malých bloků dat v rozmezí 0,5 a 1 kB, kde se projevuje výhoda rychlejšího potvrzování přijetí dat po fyzicky odděleném kanálu USB 3.0. Překvapující je i odlišnost průměrné přenosové rychlosti zápisu velkých bloků dat v rozmezí 512 až 8192 kB, kde teoreticky pomalejší USB 2.0 je rychlejší. Může to být způsobeno rychlejší obsluhou řadiče USB 2.0 v zařízení.

Velikost bloku dat [kB]	USB 3.0		USB 2.0		Zlepšení	
	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [%]	Zápis [%]
0,5	4855,8	4107,4	997,8	849,6	386,7	383,5
1	8810,4	8518,6	1984	1913,6	344,1	345,2
2	4915	6330	3399,4	3237,8	44,6	95,5
4	9526	2955,2	6470,4	6379,6	47,2	-53,7
8	33446,8	9127,2	10430	9864,6	220,7	-7,5
16	55119	10055	14623	8949,6	276,9	12,4
32	55959,6	11065	21890,4	11216,8	155,6	-1,4
64	56034,8	10958,8	28257,4	8941,2	98,3	22,6
128	56067,2	11594,2	23403,6	4564,6	139,6	154,0
256	56132,2	10912	30040,6	6784	86,9	60,8
512	56254,6	11616	30285,8	9346,4	85,7	24,3
1024	50368,8	9596,6	29606,6	11308,8	70,1	-15,1
2048	56899	10101,8	30013	10929,6	89,6	-7,6
4096	56631	7267	30285,4	10267,8	87,0	-29,2
8192	59633,8	8333,2	30438	9609,8	95,9	-13,3
Celkově:					148,6	64,7

Tabulka 4-1 Rozdíly mezi připojením flash disku ADATA S102 8GB na port USB 3.0 nebo USB 2.0

Flash disk Kingston DataTravel 1 GB

Flash disk Kingston Data Travel je zařízení, které se běžně prodávalo před 4 roky a je zde použito za účelem demonstrace zlepšení nových běžně dostupných flash disků s podporou USB 3.0 a rozdíly mezi připojením do portu USB 3.0 a 2.0.

Naměřené hodnoty čtení a zápisu flash disku připojeného na port USB 3.0 jsou zachyceny v tabulce D-5, tabulce D-6, grafu D-5. Hodnoty flash disku připojeného na port USB 2.0 jsou uvedeny v tabulce D-7, tabulce D-8 a grafu D-6. Na naměřených hodnotách je zajímavé, že ačkoliv zařízení nepodporuje komunikaci USB 3.0, pracuje na portu USB 3.0 průměrně o 13,7% rychleji při čtení a o 3,5% při zápisu, viz tabulka 4-2. Hlavními důvody jsou novější řadič a lepší ovladače řadiče, které umožňují rychlejší komunikaci.

Rozdíly mezi flash disky ADATA S102 8GB a Kingston DataTravel 1 GB jsou uvedeny v tabulce D-9. Největší zlepšení je patrné u přenosů malých bloků dat, kde se projevuje rychlejší potvrzování přijetí paketů po odděleném fyzickém kanále. Z výsledků je dále patrné, že běžně dostupné flash disky ve stejné cenové hladině se za poslední 4 roky průměrně zrychlily při čtení o 393% a při zápisu o 1337%, největší zrychlení je zjištěno v oblasti malých bloků dat.

Velikost bloku dat [kB]	USB 3.0		USB 2.0		Zlepšení	
	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [%]	Zápis [%]
0,5	1062	84	699	66	34,2	21,1
1	1955	151	1358	144	30,5	4,6
2	3428	268	2487	247	27,5	7,8
4	5241	442	3965	473	24,4	-7,2
8	7473	470	6049	451	19,1	4,0
16	9616	2631	8114	2380	15,6	9,5
32	10971	2377	10088	2275	8,0	4,3
64	12146	2317	11444	2404	5,8	-3,8
128	12324	2634	11613	2447	5,8	7,1
256	12405	2425	11707	2434	5,6	-0,4
512	12466	2521	11752	2481	5,7	1,6
1024	12488	2399	11695	2331	6,3	2,8
2048	12490	2365	11751	2437	5,9	-3,1
4096	12497	2456	11778	2545	5,8	-3,6
8192	12497	2532	11792	2330	5,6	8,0
Celkově:					13,7	3,5

Tabulka 4-2 Rozdíly mezi připojením flash disku Kingstone DataTraveler 1GB na port USB 3.0 nebo USB 2.0

Hard disk Western Digital Scorpio 160Gb v boxu MSI USB 2.0

Hard disk Western Digital Scorpio je posledním testovaným zařízením, které nelimituje žádným způsobem přenosovou rychlost USB 2.0 a tudíž má největší vypovídací hodnotu.

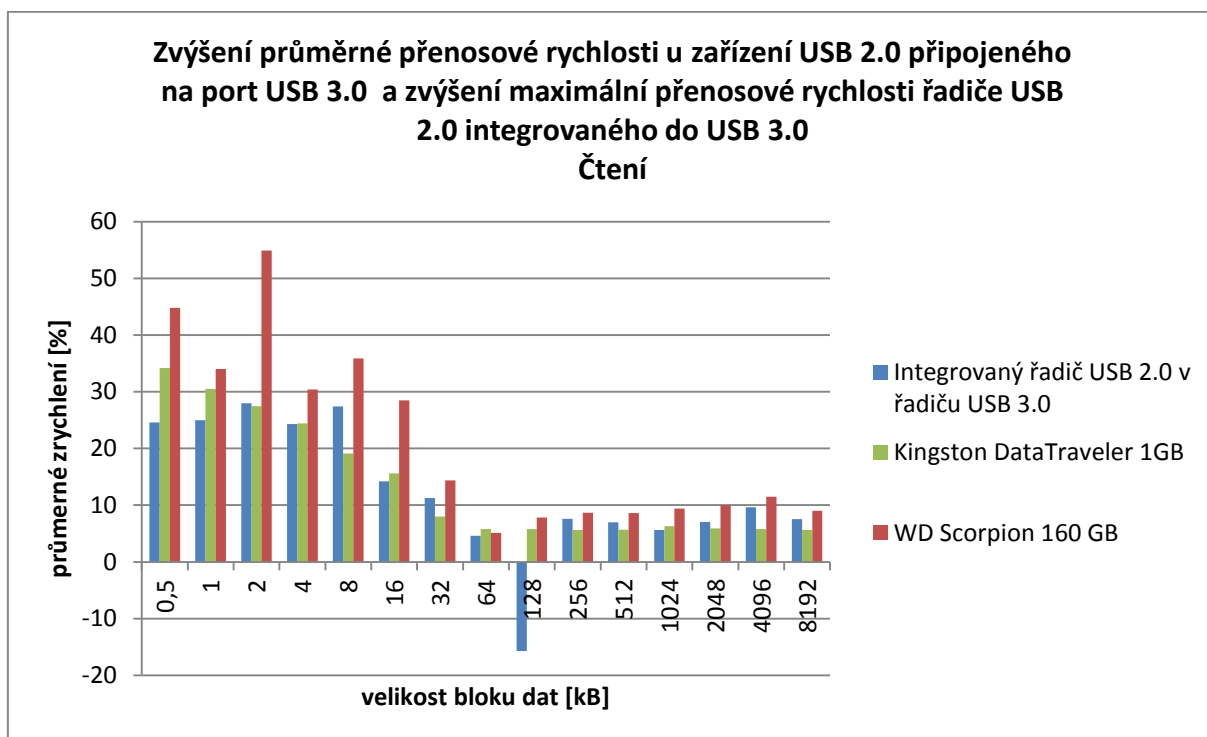
Naměřené hodnoty čtení a zápisu hard disku připojeného na port USB 3.0 jsou zapsány v tabulce D-10, tabulce D-11, grafu D-9, a připojeného na port USB 2.0 jsou uvedeny v tabulce D-12, tabulce D-13, grafu D-10. Z naměřených hodnot jasně vyplývá, že zařízení USB 2.0 má maximální přenosovou rychlost na USB 2.0 portu při čtení 28 300 kB/s, při zápisu 27 753 kB/s a na portu USB 3.0 má čtení 30 850 kB/s a zápis 28 376 kB/s. Průměrná přenosová rychlost se u zařízení USB 2.0 připojeného do USB 3.0 portu průměrně zvýšila ve čtení o 20,9% a zápisu o 17,6%, viz tabulka 4-3.

Velikost bloku dat [kB]	USB 3.0		USB 2.0		Zlepšení	
	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [%]	Zápis [%]
0,5	1159	1231	801	827	44,8	49,0
1	2127	2546	1587	1927	34,0	32,1
2	4113	4725	2656	3052	54,9	54,8
4	6787	8078	5204	5212	30,4	55,0
8	11121	11087	8186	8837	35,9	25,5
16	16450	15769	12803	13905	28,5	13,4
32	22508	20767	19673	18670	14,4	11,2
64	28388	26165	27018	25508	5,1	2,6
128	29935	27459	27772	27106	7,8	1,3
256	30352	27795	27924	27753	8,7	0,2
512	30733	28376	28310	27632	8,6	2,7
1024	30679	28233	28031	27225	9,4	3,7
2048	30845	28052	28041	27216	10,0	3,1
4096	30809	27924	27625	26482	11,5	5,4
8192	30850	28269	28300	27145	9,0	4,1
Celkově:					20,9	17,6

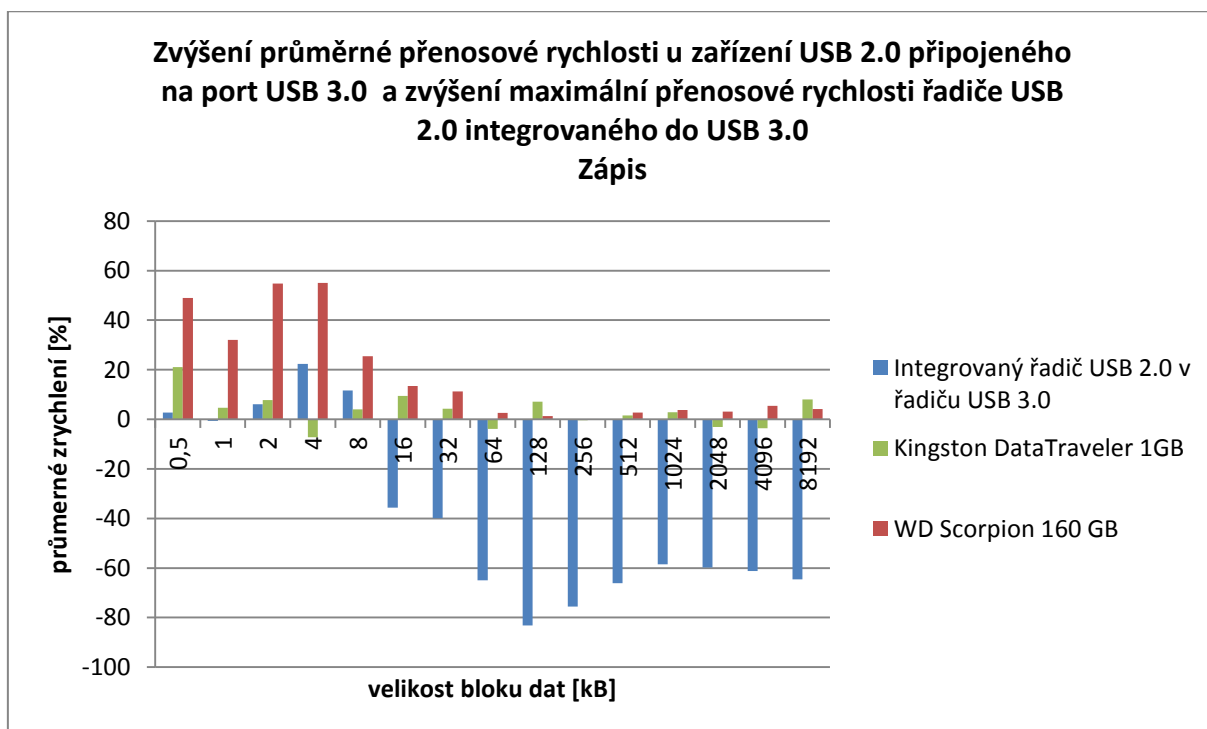
Tabulka 4-3 Rozdíl mezi připojením hard disku WD Scorpio 160Gb na port USB 3.0 nebo USB 2.0

Nejdůležitější hodnoty jsou shrnuty v tabulce D-14, grafu 4-1 a grafu 4-2 ze kterých vyplývá, že nový port USB 3.0 s integrovaným řadičem USB 2.0 je průměrně rychlejší se zařízením USB 2.0 při čtení o 17,3 % a při zápisu o 10,55%, především v oblasti malých velikostí bloků dat, tedy pro rychlejší přenos je výhodnější připojit zařízení USB 2.0 do portu USB 3.0.

Dokonce i flash disk ADATA S102 8GB připojený do USB 2.0 zvyšuje jeho maximální přenosovou rychlost při čtení na 30 438 kB/s, oproti hard disku WD Scorpio 160GB v boxu s USB 2.0 připojeného do portu USB 2.0, které má maximální přenosovou rychlost 28 310 kB/s, jde o zrychlení o 7,51 %. Na druhou stranu flash disk ADATA S102 8GB připojený do USB 2.0 při zápisu nedosahuje maximální možné rychlosti a ve většině velikostí bloků dat je o dost pomalejší, v případě 128 kB bloku dat až o 83%, viz graf 4-2.



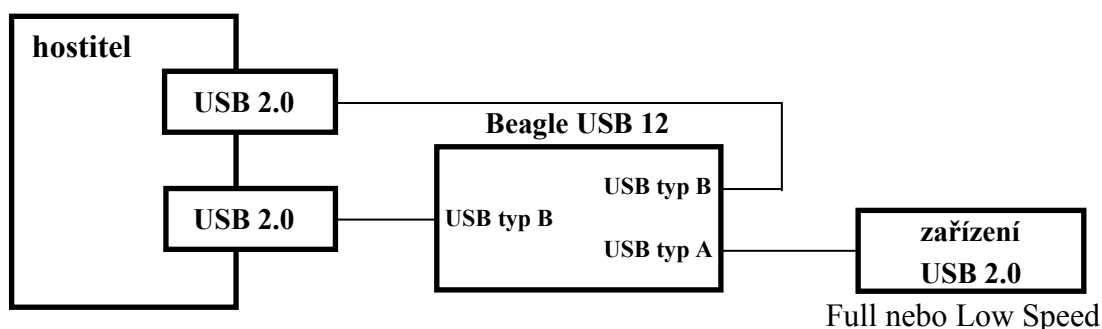
Graf 4-1 Zvýšení průměrné přenosové rychlosti u zařízení USB 2.0 připojeného na port USB 3.0 a zvýšení maximální přenosové rychlosti řadiče USB 2.0 integrovaného do USB 3.0 – Čtení



Graf 4-2 Zvýšení průměrné přenosové rychlosti u zařízení USB 2.0 připojeného na port USB 3.0 a zvýšení maximální přenosové rychlosti řadiče USB 2.0 integrovaného do USB 3.0 – Zápis

4.2. Analýza procedury připojení zařízení USB k hostiteli

Pro analýzu bylo použito zařízení Beagle USB 12 (obrázek D-5) se softwarem Total Phase Data Center v5.02, které se vkládá mezi hostitele a USB zařízení (obrázek 4-2), a dokáže zachytit komunikaci mezi nimi na protokolové vrstvě. Grafické zpracování a zobrazení je velice přehledné a přesné, protože každou transakci (žádost, data a potvrzení) sjednocuje do rozevřacího seznamu. Nevýhodou je, že pracuje pouze se zařízením, která přenášejí data v „Full-Speed“ (12 Mbit/s) nebo „Low-Speed“ (1.5 Mbit/s) režimu, a nedokáže dekodovat přenášená data.



Obrázek 4-2 Schéma zapojení analyzátoru Beagle USB 12

K analýze zařízení USB 2.0, USB 3.0 byl použit volně dostupný softwarový nástroj Wireshark. Tento program je univerzální a dokáže analyzovat protokolovou vrstvu různých komunikací. Vyhodnocení komunikace USB není tak přehledné jako u Beagle USB 12, ale vypíše informace o přenášených datech – atributy a jejich hodnoty a částečně je dekoduje.

Oba programy byly spouštěny pod operačním systémem Ubuntu 10.10.

Pro kvalitní dekodování přenášených dat byl použit 30-ti denní softwarový nástroj USBlyzer 2.0 beta 5, který sjednocuje transakce podobně jako Beagle USB 12 a obsáhle popisuje přenášená data v celé transakci i s vysvětlením hexadecimálních hodnot. Tento program je určený pro operační systémy Windows a byl spouštěn pod operačním systémem Windows 7 64-bit.

Podrobně bylo analyzováno připojení zařízení USB 2.0 ASUS M-UV55a (obrázek D-6) typu myš, pomocí všech tří nástrojů. Pro porovnání procedury připojení bylo vyhodnoceno i zařízení: flash disk Kingston DataTravel 1 GB s USB 2.0 (obrázek D-2) a podrobněji flash disk ADATA S102 8GB s USB 3.0 (obrázek D-1), ale už jen pomocí nástroje Wireshark, protože Beagle USB 12 není s těmito verzemi USB kompatibilní.

Každé zařízení USB pracuje na technologii „Plug and Play“ – automaticky se nakonfiguruje, zavede do systému správné ovladače a připraví se k používání. Aby vše proběhlo správně, musí nejdříve hostitel získat informace o zařízení, konfigurační parametry rozhraní a přidělit mu adresu. Celá konfigurační procedura je přes základní řídicí rouru s koncovým bodem 0 a po skončení má hostitel dostatek informací o zařízení ke správnému výběru a zavedení ovladačů do systému potřebných ke komunikaci s uživatelskými aplikacemi.

4.2.1. ASUS M-UV55a s USB 2.0

Celá procedura připojení a konfigurace zařízení je zobrazena na obrázku 4-3.

Beagle					Wireshark					
Len	Dev	Ep	Record	Summary	No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
			<Reset> / <Target disco...		27	8.021484	host	0.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
			<Unreset> / <Target con...		28	8.022483	0.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
18 B	00	00	1 ▶ Get Device Descriptor	Index=0 Length=64	29	8.022535	host	1.0	USB	URB_CONTROL
			<Reset> / <Target disco...		30	8.051449	1.0	host	USB	URB_CONTROL
			<Unreset> / <Target con...		31	8.081393	1.1	host	USB	URB_INTERRUPT
0 B	00	00	2 ▶ Set Address	Address=02	32	8.081399	host	1.1	USB	URB_INTERRUPT
18 B	02	00	3 ▶ Get Device Descriptor	Index=0 Length=18	33	8.111424	host	1.0	USB	URB_CONTROL
9 B	02	00	4 ▶ Get Configuration Descri...	Index=0 Length=9	34	8.111434	1.0	host	USB	URB_CONTROL
34 B	02	00	5 ▶ Get Configuration Descri...	Index=0 Length=34	35	8.172046	host	1.0	USB	URB_CONTROL
4 B	02	00	6 ▶ Get String Descriptor	Index=0 Length=255	36	8.172055	1.0	host	USB	URB_CONTROL
36 B	02	00	7 ▶ Get String Descriptor	Index=2 Length=255	37	8.172062	host	0.0	USB	SET_ADDRESS Request
18 B	02	00	8 ▶ Get String Descriptor	Index=1 Length=255	38	8.172510	0.0	host	USB	SET_ADDRESS Response
0 B	02	00	9 ▶ Set Configuration	Configuration=1	39	8.202060	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
0 B	02	00	10 ▶ Control Transfer		40	8.203490	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
52 B	02	01	11 ▶ Control Transfer	05 01 09 02 A1 01	41	8.203547	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
1.99 s	02	01	12 [250 IN-NAK]	[Periodic Timeout]	42	8.205521	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
1.99 s	02	01	13 [250 IN-NAK]	[Periodic Timeout]	43	8.205567	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
					44	8.208512	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
					45	8.208565	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
					46	8.210511	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
					47	8.210558	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
					48	8.213499	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
					49	8.213555	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
					50	8.215512	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
					51	8.215772	host	4.0	USB	SET_CONFIGURATION Request
					52	8.217500	4.0	host	USB	SET_CONFIGURATION Response
					53	8.217774	host	4.0	USB	URB_CONTROL

Obrázek 4-3 Procedura připojení a konfigurace zařízení Asus M-UV55a USB 2.0 k hostiteli

Skládá se z těchto částí:

- 1) Požadavek na popis zařízení – „Get Device Descriptor“, viz obrázek D-7. Zařízení odpoví s daty, viz obrázek 4-4.

```

USB URB
  URB id: 0xffff880029719600
  URB type: URB_COMPLETE ('C')
  URB transfer type: URB_CONTROL (2)
  Endpoint: 0x80
  Device: 0
  URB bus id: 5
  Device setup request: not present ('-')
  Data: present (0)
  URB status: Success (0)
  URB length [bytes]: 18
  Data length [bytes]: 18
  [Request in: 27]
  [Time from request: 0.000999000 seconds]
  [bInterfaceClass: Unknown (0xffff)]
  DEVICE DESCRIPTOR
    bLength: 18
    bDescriptorType: DEVICE (1)
    bcdUSB: 0x0200
    bDeviceClass: 0
    bDeviceSubClass: 0
    bDeviceProtocol: 0
    bMaxPacketSize0: 8
    idVendor: 0x046d
    idProduct: 0xc016
    bcdDevice: 0x0340
    iManufacturer: 1
    iProduct: 2
    iSerialNumber: 0
    bNumConfigurations: 1

```

Endpoint: 0x80 – koncový bod číslo 0
 Data length: 18 – délka dat 18 B
 bDescriptorType: Device – typ popisu: zařízení, konfigurace, přenosové rychlosti, rozhraní, koncový bod, ...
 bcdUSB: 0x200 – podporované verze USB:
 0x0110 (USB 1.1)
 0x0200 (USB 2.0)
 bDeviceClass: 0 – udává zařazení zařízení do třídy 0
 bMaxPacketSize0: 8 – maximální velikost užitečných dat v jednom paketu pro koncový bod 0 je 8 B
 idVendor: 0x046d – označení výrobce korporací USB-IF
 bcdDevice: 0x0340 – číslo zařízení určené výrobcem
 bNumConfigurations: 1 – počet možných konfigurací

Obrázek 4-4 Data v odpovědi na první požadavek „Get Device Descriptor“

- 2) Přidělení adresy zařízení – „Set Address“, viz obrázek D-8.V programu Beagle dostalo zařízení adresu 02, ale při další analýze v programu Wireshark dostalo adresu 4.0, číslo za tečkou určuje číslo koncového bodu, v našem případě se jedná o koncový bod 0.
- 3) Opětovný požadavek na popis zařízení - „Get Device Descriptor“, viz obrázek D-9. Zařízení odpoví stejnými daty jako v bodě 1, ale s již přiřazenou adresou.
- 4) Požadavek na popis konfiguračních atributů – „Get Configuration Descriptor“, viz obrázek D-10. Zařízení odpoví s hodnotami konfiguračních atributů, viz obrázek 4-5.

Get Descriptor

This request returns the specified descriptor if the descriptor exists.

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bmRequestType	1	80h	
	4.0: Recipient	...	00000	Device
	6.5: Type	...	00	Standard
	7: Direction	1	1	Device-to-Host
1	bRequest	1	06h	Get Descriptor
2	wValue.LowByte	1	00h	Descriptor Index
3	wValue.HiByte	1	02h	Configuration Descriptor
4	wIndex	2	0000h	
6	wLength	2	0022h	Descriptor Length

Configuration Descriptor 1 Bus Powered, 100 mA

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	09h	
1	bDescriptorType	1	02h	Configuration
2	wTotalLength	2	0022h	
4	bNumInterfaces	1	01h	
5	bConfigurationValue	1	01h	
6	iConfiguration	1	00h	
7	bmAttributes	1	A0h	Bus Powered, Remote Wakeup
	4.0: Reserved	...	00000	
	5: Remote Wakeup	...	1	Yes
	6: Self Powered	...	0	No, Bus Powered
	7: Reserved (set to one) (bus-powered for 1.0)	...	1	
8	bMaxPower	1	32h	100 mA

Interface Descriptor 0/0 HID, 1 Endpoint

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	09h	
1	bDescriptorType	1	04h	Interface
2	bInterfaceNumber	1	00h	
3	bAlternateSetting	1	00h	
4	bNumEndpoints	1	01h	
5	bInterfaceClass	1	03h	HID
6	bInterfaceSubClass	1	01h	Boot Interface
7	bInterfaceProtocol	1	02h	Mouse
8	iInterface	1	00h	

HID Descriptor

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	09h	
1	bDescriptorType	1	21h	HID
2	bcdHID	2	0110h	1.10
4	bCountryCode	1	00h	
5	bNumDescriptors	1	01h	
6	bDescriptorType	1	22h	Report
7	wDescriptorLength	2	0034h	52 bytes

Endpoint Descriptor 81 1 In, Interrupt

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	07h	
1	bDescriptorType	1	05h	Endpoint
2	bEndpointAddress	1	81h	1 In
3	bmAttributes	1	03h	Interrupt
	1.0: Transfer Type	...	11	Interrupt
	7.2: Reserved	...	000000	
4	wMaxPacketSize	2	0004h	4 bytes
6	bInterval	1	0Ah	

bmRequestType: 80h – směr a typ požadavku

bConfigurationValue: 01h – určuje, zda bude použit požadavek „Set Configuration“

bmAttributes: A0h – nastavení napájení a probouzení hostitele z úsporného režimu

bMaxPower: 32h – maximální odebíraný proud

bInterfaceClass: 03h – typ třídy zařízení

bInterfaceProtocol: 02h – typ protokolu

bcdHID: 0110h – číslo revize HID

bEndpointAddress: 81h – adresa přerušovacího koncového bodu

bmAttributes: 03h – typ přenosu, typ synchronizace a typ použití

wMaxPacketSize: 04h – maximální velikost užitečných dat poslaných nebo přijatých koncovým bodem

bInterval: 0Ah – hodnota pro výpočet délky ochranného intervalu

Obrázek 4-5 Popis konfiguračního nastavení z programu USBlyzer – napájení, rozhraní, HID a koncového bodu

- 5) Požadavek na slovní popis informací o zařízení – „Get String Descriptor“, viz obrázek D-11. Poskytuje nekódované informace, které jsou ve formátu textového řetězce a jsou volitelné. Např.: název výrobce, typ zařízení,...
- 6) Nastavení aktuálních konfiguračních parametrů – „Set Configuration“, viz obrázek D-12. Slouží k nastavení a aktivování zařízení pro použití.
- 7) Řídící přenos – „Control Transfer“, viz obrázek D-13. Nastavují další parametry zařízení.

Dle teoretických předpokladů popsanych v kapitole o USB 3.0 (viz Řídící transakce str. 12), každou řídicí transakci začíná hostitel paketem SETUP, poté následuje datová část (vstupní – IN, výstupní - OUT) a celá transakce je ukončena paketem STATUS (analyzátor Beagle USB 12 používá označení OUT), viz obrázek 4-6.

Len	Dev	Ep	Record	Summary
			<Reset> / <Target disco...	
			<Unreset> / <Target con...	
18 B	00	00	Get Device Descriptor	Index=0 Length=64
8 B	00	00	SETUP txn	80 06 00 01 00 00 40 00
3 B	00	00	SETUP packet	2D 00 10
11 B	00	00	DATA0 packet	C3 80 06 00 01 00 00 40 00
1 B	00	00	ACK packet	D2
8 B	00	00	IN txn	12 01 00 02 00 00 00 08
3 B	00	00	IN packet	69 00 10
11 B	00	00	DATA1 packet	4B 12 01 00 02 00 00 00 08
1 B	00	00	ACK packet	D2
8 B	00	00	IN txn	6D 04 16 C0 40 03 01 02
2 B	00	00	IN txn	00 01
0 B	00	00	OUT txn	
3 B	00	00	OUT packet	E1 00 10
3 B	00	00	DATA1 packet	4B 00 00
1 B	00	00	ACK packet	D2
			<Reset> / <Target disco...	
			<Unreset> / <Target con...	
0 B	00	00	Set Address	Address=02

Obrázek 4-6 Struktura řídicí transakce

Reálná struktura přerušovací transakce je stejná jako teoreticky popsaná v kapitole o USB 3.0 (viz. Přerušovací transakce 13). Při vstupní přerušovací transakci hostitel vyzve zařízení k odeslání dat („IN packet“), zařízení odpoví datovým paketem („DATA1 packet“) a hostitel potvrdí doručení datového paketu („ACK packet“), viz obrázek 4-7 nebo obrázek D-14.

Beagle					USBlzyer		
Len	Dev	Ep	Record	Summary	Input Report		
4 B	02	01	IN txn	00 00 FF 00	Usage	Range Lp/Ph	Value
4 B	02	01	IN txn	00 01 FF 00	X	[-127..127]	2
4 B	02	01	IN txn	00 00 FD 00	Y	[-127..127]	-3
4 B	02	01	IN txn	00 00 FC 00	Wheel	[-127..127]	0
3 B	02	01	IN packet	69 82 18	Input Report		
7 B	02	01	DATA1 packet	4B 00 00 FC 00 BE DB	Usage	Range Lp/Ph	Value
1 B	02	01	ACK packet	D2	X	[-127..127]	3
4 B	02	01	IN txn	00 FE FC 00	Y	[-127..127]	-4
3 B	02	01	IN packet	69 82 18	Wheel	[-127..127]	0
7 B	02	01	DATA0 packet	C3 00 FE FC 00 DF 2B	Input Report		
1 B	02	01	ACK packet	D2	Usage	Range Lp/Ph	Value
4 B	02	01	IN txn	00 FE FD 00	X	[-127..127]	2
3 B	02	01	IN packet	69 82 18	Y	[-127..127]	-3
7 B	02	01	DATA1 packet	4B 00 FE FD 00 DE BB	Wheel	[-127..127]	0
1 B	02	01	ACK packet	D2			
4 B	02	01	IN txn	00 FD FD 00			

Obrázek 4-7 Struktura přerušovacích transakcí s dekodovanými daty programem USBlzyer

4.2.2. Kingston DataTravel 1 GB s USB 2.0

Procedura připojení a konfigurace u dalšího zařízení je téměř shodná s předešlou kapitolou, ale jelikož zařízení využívá „High-Speed“ (480 Mbit/s) režim, k analýze byl použit jen softwarový nástroj Wireshark, viz obrázek 4-8. Přibyla navíc jedna transakce požadavku na textový popis informací o zařízení – „Get String Descriptor“ a především nová transakce pro získání počtu logických jednotek v zařízení – „Get Max Lun“, která se používá pouze u velkokapacitních zařízení, které využívají hromadný přenos. Pomocí této transakce zařízení sdělí hostiteli, kolik logických jednotek podporuje, které musí být očíslovány od 0 do 15 (Fh).

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
75	13.248686	host	0.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
76	13.248847	0.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
77	13.248896	host	1.0	USB	URB_CONTROL
78	13.248904	1.0	host	USB	URB_CONTROL
79	13.308656	host	1.0	USB	URB_CONTROL
80	13.308706	1.0	host	USB	URB_CONTROL
81	13.368645	host	1.0	USB	URB_CONTROL
82	13.368660	1.0	host	USB	URB_CONTROL
83	13.368666	host	0.0	USB	SET_ADDRESS Request
84	13.368708	0.0	host	USB	SET_ADDRESS Response
85	13.399895	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
86	13.400703	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
87	13.400760	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
88	13.400823	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
89	13.400838	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
90	13.400947	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
91	13.400997	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
92	13.401073	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
93	13.401118	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
94	13.401198	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
95	13.401248	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
96	13.401323	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
97	13.401371	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
98	13.401460	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
99	13.401745	host	4.0	USB	SET_CONFIGURATION Request
100	13.401845	4.0	host	USB	SET_CONFIGURATION Response
101	14.398674	host	4.0	USBMS	GET_MAX_LUN Request
102	14.398795	4.0	host	USBMS	GET_MAX_LUN Response
103	14.399161	host	4.2	USBMS	SCSI: Inquiry LUN: 0x00
104	14.400052	4.2	host	USB	URB_BULK
105	14.400089	host	4.1	USB	URB_BULK

Obrázek 4-8 Procedura připojení a konfigurace zařízení Kingston DataTravel 1 GB USB 2.0 k hostiteli

4.2.3. ADATA S102 8GB s USB 3.0

Zařízení s USB 3.0 se podařilo analyzovat jen částečně, protože analyzátor Wireshark nebyl schopen dekodovat první transakci o popis zařízení a druhou transakci o přidělení adresy zařízení, které zůstaly neoznačeny v některém řídicím přenosu – „URB_CONTROL“, viz obrázek 4-9. Dá se předpokládat, že důvodem je nová specifikace USB 3.0, na kterou ještě není Wireshark připraven, do budoucna je možno očekávat, že v pozdějších verzích přibude podpora i pro tuto verzi USB. Ostatní typy řídicích transakcí jsou shodné s USB 2.0. Jelikož se jedná o velkokapacitní zařízení, přibyla transakce pro určení počtu logických jednotek podporovaných zařízením – „Get max LUN“.

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
49	8.458083	host	1.0	USB	URB_CONTROL
50	8.458089	1.0	host	USB	URB_CONTROL
51	8.458090	host	1.0	USB	URB_CONTROL
52	8.458093	1.0	host	USB	URB_CONTROL
53	8.495829	host	1.0	USB	URB_CONTROL
54	8.495840	1.0	host	USB	URB_CONTROL
55	8.535841	host	1.0	USB	URB_CONTROL
56	8.535852	1.0	host	USB	URB_CONTROL
57	8.585834	host	1.0	USB	URB_CONTROL
58	8.585845	1.0	host	USB	URB_CONTROL
59	8.616976	host	1.0	USB	URB_CONTROL
60	8.616986	1.0	host	USB	URB_CONTROL
61	8.636452	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
62	8.636790	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
63	8.636827	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
64	8.637164	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
65	8.637199	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
66	8.637539	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
67	8.637571	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
68	8.637915	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
69	8.637935	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
70	8.638287	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
71	8.638306	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
72	8.638646	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
73	8.638664	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
74	8.639020	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
75	8.639039	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
76	8.639396	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
77	8.639776	host	2.0	USB	SET_CONFIGURATION Request
78	8.640025	2.0	host	USB	SET_CONFIGURATION Response
79	9.635804	host	2.0	USBMS	GET_MAX_LUN Request
80	9.636102	2.0	host	USBMS	GET_MAX_LUN Response

Obrázek 4-9 Procedura připojení a konfigurace zařízení ADATA S102 8Gb USB 3.0 k hostiteli

Analýza některých řídicích transakcí analyzátozem Wireshark při navazování spojení zařízení ADATA S102 8GB USB 3.0 s hostitelem:

U jedné transakce „Get Descriptor Reponse Device“ nedokázal Wireshark analyzovat datovou část, viz obrázek 4-10.

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
61	8.636452	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
62	8.636790	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
63	8.636827	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
▶ Frame 62 (32 bytes on wire, 32 bytes captured)					
▶ USB URB					
▼ [Malformed Packet: USB]					
▼ [Expert Info (Error/Malformed): Malformed Packet (Exception occurred)]					
[Message: Malformed Packet (Exception occurred)]					
[Severity level: Error]					
[Group: Malformed]					

Obrázek 4-10 Chybně analyzovaná datová část u transakce „Get Descriptor Response Device“

Zařízení posílá hostiteli konfigurační informace ve zprávě „Get Description Response Configuration“ (obrázek 4-11) popisující:

- způsob napájení – bmAttributes: 0x80 = bez vlastního napájení a nepřechází do úsporného režimu
- maximální odebíraný proud – bMaxPower: 63 = 126mA

rozhraní:

- třídu rozhraní – bInterfaceClass: 0x08 = velkokapacitní paměť

koncové body:

- adresu koncového bodu – bEndpointAddress: 0x02 = výstupní koncový bod 2
- maximální velikost užitečných dat v jednom paketu – wMaxPacketSize: 1024 = 1024B
- servisní interval – bInterval: 0 = bez servisního intervalu
- adresu koncového bodu – bEndpointAddress: 0x81 = vstupní koncový bod 1
- maximální velikost užitečných dat v jednom paketu – wMaxPacketSize: 1024 = 1024B
- servisní interval – bInterval: 0 = bez servisního intervalu

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
67	8.637571	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
68	8.637915	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
69	8.637935	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING

▶ Frame 68 (68 bytes on wire, 68 bytes captured)					
▼ USB URB					
▼ CONFIGURATION DESCRIPTOR					
bLength: 9					
bDescriptorType: CONFIGURATION (2)					
wTotalLength: 44					
bNumInterfaces: 1					
bConfigurationValue: 1					
iConfiguration: 0					
▶ Configuration bmAttributes: 0x80 NOT SELF-POWERED NO REMOTE-WAKEUP					
bMaxPower: 63 (126mA)					
▼ INTERFACE DESCRIPTOR					
bLength: 9					
bDescriptorType: INTERFACE (4)					
bInterfaceNumber: 0					
bAlternateSetting: 0					
bNumEndpoints: 2					
bInterfaceClass: MASS STORAGE (0x08)					
bInterfaceSubClass: 0x06					
bInterfaceProtocol: 0x50					
iInterface: 0					
▼ ENDPOINT DESCRIPTOR					
bLength: 7					
bDescriptorType: ENDPOINT (5)					
▶ bEndpointAddress: 0x02 OUT Endpoint:2					
bmAttributes: 0x02					
wMaxPacketSize: 1024					
bInterval: 0					
▼ UNKNOWN DESCRIPTOR					
bLength: 6					
bDescriptorType: Unknown (48)					
▼ ENDPOINT DESCRIPTOR					
bLength: 7					
bDescriptorType: ENDPOINT (5)					
▶ bEndpointAddress: 0x81 IN Endpoint:1					
bmAttributes: 0x02					
wMaxPacketSize: 1024					
bInterval: 0					
▼ UNKNOWN DESCRIPTOR					
bLength: 6					
bDescriptorType: Unknown (48)					

Obrázek 4-11 Odpověď zařízení popisující napájení, rozhraní a koncové body

Pomocí transakce „Get Descriptor String“ zařízení posílá informace, které nejdu zakódovat a jsou specifické pro každé zařízení, např.: slovní popis zařízení, viz obrázek 4-12.

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
71	8.638306	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
72	8.638646	2.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
73	8.638664	host	2.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING

▶ Frame 72 (68 bytes on wire, 68 bytes captured)					
▼ USB URB					
▼ STRING DESCRIPTOR					
bLength: 44					
bDescriptorType: STRING (3)					
bString: ADATA USB Flash Drive					

Obrázek 4-12 Transakce „Get Descriptor String“ se slovním popisem zařízení

Po úspěšném navázání spojení hostitel testuje každou logickou jednotku v zařízení, jestli je připravena přijímat nebo odesílat data. K tomu používá transakci „Test Unit Ready“ s adresou logickou jednotky – „LUN:0x0X“ a logická jednotka musí do určité doby odpovědět, viz obrázek 4-13.

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
86	9.636346	2.1	host	USBMS	SCSI: Response LUN: 0x00 (Inquiry) (Good)
87	9.640704	host	2.2	USBMS	SCSI: Test Unit Ready LUN: 0x00
88	9.640737	2.2	host	USB	URB_BULK
▶ Frame 87 (55 bytes on wire, 55 bytes captured)					
▼ USB URB					
▼ SCSI CDB Test Unit Ready					
[LUN: 0x0000]					
[Command Set:Direct Access Device (0x00)]					
[Response in: 90]					
Opcode: Test Unit Ready (0x00)					
Vendor Unique = 0, NACA = 0, Link = 0					
No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
90	9.640783	2.1	host	USBMS	SCSI: Response LUN: 0x00 (Test Unit Ready) (Good)

Obrázek 4-13 Test připravenosti zařízení přijímat nebo odesílat data

Hostitel zjišťuje kapacitu paměti a velikost jednoho bloku dat transakcí „Read Capacity“, viz obrázek 4-14.

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
90	9.640783	2.1	host	USBMS	SCSI: Response LUN: 0x00 (Test Unit Ready) (Good)
91	9.640823	host	2.2	USBMS	SCSI: Read Capacity(10) LUN: 0x00
92	9.640844	2.2	host	USB	URB_BULK
▶ Frame 91 (55 bytes on wire, 55 bytes captured)					
▼ USB URB					
▼ SCSI CDB Read Capacity(10)					
[LUN: 0x0000]					
[Command Set:Direct Access Device (0x00)]					
[Response in: 96]					
Opcode: Read Capacity(10) (0x25)					
No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
93	9.640850	host	2.1	USB	URB_BULK
94	9.640894	2.1	host	USBMS	SCSI: Data In LUN: 0x00 (Read Capacity(10) Response Data)
95	9.640900	host	2.1	USB	URB_BULK
▶ Frame 94 (32 bytes on wire, 32 bytes captured)					
▼ USB URB					
USB Mass Storage					
▼ SCSI Payload (Read Capacity(10) Response Data)					
[LUN: 0x0000]					
[Command Set:Direct Access Device (0x00)]					
[SBC Opcode: Read Capacity(10) (0x25)]					
[Request in: 91]					
LBA: 15433727 (7535 MB)					
Block size in bytes: 512					

Obrázek 4-14 Transakce požadavku dostupné kapacity paměti v zařízení i s odpovědí zařízení

Pokud konfigurace zařízení, nastavení hostitele a zavedení ovladačů proběhne správně, může začít přenos dat. Na příkladě bude znázorněn vstupní a výstupní hromadný přenos.

Vstupní hromadný přenos začíná hostitel požadavkem o data s adresou logické jednotky (LUN: 0x00), adresou dat v paměti (LBA: 0x006a3780) a délkou čtených dat, viz obrázek 4-15, část 1. Zařízení potvrdí přijetí žádosti a odpoví datovými pakety s celkovou velikostí užitečných dat 61 440 B (60 paketů s 1024 B), viz obrázek 4-15, část 2. Hostitel potvrdí přijetí datových paketů a zařízení pošle potvrzení o úspěšnosti přenosu a tím dokončí přenos, viz obrázek 4-15, část 3. Poté zařízení čeká na další žádost o data.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
52300	47.089847	2.1	host	USBMS	SCSI: Response LUN: 0x00 (Read(10)) (Good)
52301	47.089919	host	2.2	USBMS	SCSI: Read(10) LUN: 0x00 (LBA: 0x006a3780, Len: 240)
52302	47.089948	2.2	host	USB	URB_BULK Potvrzení přijetí žádosti
52304	47.091734	2.1	host	USBMS	SCSI: Data In LUN: 0x00 (Read(10) Response Data)
▶ Frame 52301 (55 bytes on wire, 55 bytes captured)					
▶ SCSI CDB Read(10)					
1					
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
52300	47.089847	2.1	host	USBMS	SCSI: Response LUN: 0x00 (Read(10)) (Good)
52301	47.089919	host	2.2	USBMS	SCSI: Read(10) LUN: 0x00 (LBA: 0x006a3780, Len: 240)
52302	47.089948	2.2	host	USB	URB_BULK Potvrzení přijetí žádosti
52304	47.091734	2.1	host	USBMS	SCSI: Data In LUN: 0x00 (Read(10) Response Data)
▶ Frame 52304 (61464 bytes on wire, 61464 bytes captured)					
▼ USB URB					
URB length [bytes]: 122880					
Data length [bytes]: 61440					
USB Mass Storage					
▼ SCSI Payload (Read(10) Response Data)					
[LUN: 0x0000]					
[SBC Opcode: Read(10) (0x28)]					
[Request in: 52301]					
[Response in: 52306]					
2					
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
52304	47.091734	2.1	host	USBMS	SCSI: Data In LUN: 0x00 (Read(10) Response Data)
52305	47.091821	host	2.1	USB	URB_BULK Potvrzení přijetí datových paketů
52306	47.091858	2.1	host	USBMS	SCSI: Response LUN: 0x00 (Read(10)) (Good)
52307	47.092028	host	2.2	USBMS	SCSI: Read(10) LUN: 0x00 (LBA: 0x006a3870, Len: 16)
▶ Frame 52306 (37 bytes on wire, 37 bytes captured)					
▼ SCSI Response (Read(10))					
[Request in: 52301]					
3					

Obrázek 4-15 Vstupní datová transakce

Výstupní hromadný přenos začíná hostitel žádostí, ve které uvede logickou jednotku (LUN: 0x00), adresu paměti (LBA: 0xx00145a90) kam bude data zapisovat a délku zapisovaných dat, viz obrázek 4-16 část 1. Zařízení potvrdí přijetí žádosti, hostitel poté pokračuje datovými pakety s celkovou velikostí užitečných dat 61 440 B (60 paketů s 1024 B), viz obrázek 4-16, část 2. Zařízení potvrdí správné doručení datových paketů a pošle ještě potvrzení o úspěšnosti přenosu a tím dokončí přenos, viz obrázek 4-16 část 3. Poté zařízení čeká na další žádost o zápis dat.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
5903	27.503900	host	2.2	USBMS	SCSI: Write(10) LUN: 0x00 (LBA: 0x00145a90, Len: 240)
5904	27.503945	2.2	host	USB	URB_BULK Potvrzení přijetí žádosti
5905	27.503994	host	2.2	USBMS	SCSI: Data Out LUN: 0x00 (Write(10) Request Data)
▶ Frame 5903 (55 bytes on wire, 55 bytes captured)					
▼ SCSI CDB Write(10)					
1					
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
5903	27.503900	host	2.2	USBMS	SCSI: Write(10) LUN: 0x00 (LBA: 0x00145a90, Len: 240)
5904	27.503945	2.2	host	USB	URB_BULK Potvrzení přijetí žádosti
5905	27.503994	host	2.2	USBMS	SCSI: Data Out LUN: 0x00 (Write(10) Request Data)
▶ Frame 5905 (61464 bytes on wire, 61464 bytes captured)					
▼ USB URB					
URB length [bytes]: 122880					
Data length [bytes]: 61440					
USB Mass Storage					
▼ SCSI Payload (Write(10) Request Data)					
[Request in: 5903]					
[Response in: 5908]					
2					
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
5907	27.514319	host	2.1	USB	URB_BULK Potvrzení přijetí datových paketů
5908	27.514349	2.1	host	USBMS	SCSI: Response LUN: 0x00 (Write(10)) (Good)
5909	27.514442	host	2.2	USBMS	SCSI: Write(10) LUN: 0x00 (LBA: 0x00145b80, Len: 240)
5910	27.514471	2.2	host	USB	URB_BULK
▶ Frame 5908 (37 bytes on wire, 37 bytes captured)					
▼ SCSI Response (Write(10))					
[Request in: 5903]					
3					

Obrázek 4-16 Výstupní datová transakce

5. Výukové animace

Pro výukové účely a lepší pochopení obou komunikačních technologií, byly v programu Adobe Flash CS4 vytvořeny animace se zvukovou stopou a bez ní. Pro sjednocení základního designu a funkcí byla použita šablona od studenta Bc. Radka Tylicha, která má integrované funkce dovolující animaci v libovolném místě zastavit, pokračovat v přehrávání, posunout animaci o 10 s dopředu nebo dozadu, pomocí časového posuvníku se přemístit na libovolné místo nebo se vrátit na začátek.

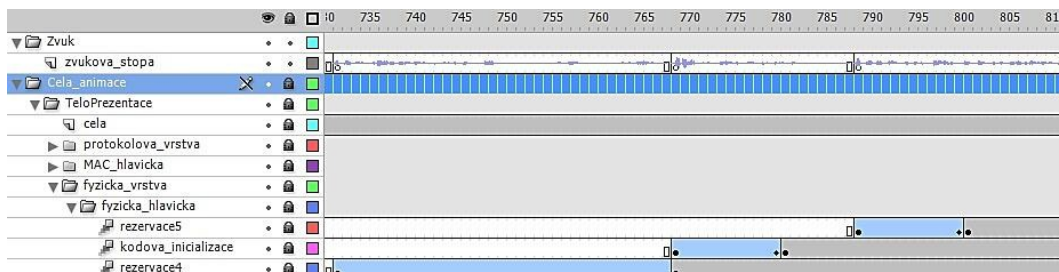
Vzniklo 6 teoretických výukových animací – základní informace, linková vrstva, řídicí přenos, přerušovací přenos, izochronní přenos a hromadný přenos, které vysvětlují základní principy a vlastnosti USB 3.0, a 2 praktické výukové animace - analýza komunikace a analýza navázání spojení, které popisují navázání spojení a komunikaci hostitele se zařízením. K jednodušší navigaci a ucelení animací s popisovanou komunikační technologií je vytvořeno menu ve formě animace (obrázek 5-1), ze kterého je možno spustit vyjmenované animace, ale musí být ve stejné složce, jako je animace menu. Z každé spuštěné animace z menu je možné se opět vrátit po stisku tlačítka Stop do menu. Jednotlivé animace se mohou spouštět odděleně a po stisku tlačítka Stop se vrátí na začátek animace a zastaví ji.



Obrázek 5-1 Základní animace – menu USB 3.0

Stejný princip je využit i při tvorbě výukových animací o WUSB, kterých je 6 – základní informace, linková vrstva a typy přenosů, formáty rámců, první spojení kabelovým modelem WUSB 1.0, první spojení kabelovým modelem WUSB 1.1 a první spojení číslíkovým modelem WUSB 1.0. Jsou pouze teoretické, protože nebylo k dispozici žádné vhodné zařízení nebo analyzátor. Opět jsou animace seskupeny do menu animace (obrázek E-1) a mají stejné funkce jako výukové animace o USB 3.0.

Při tvorbě byla každá animace rozdělena na dva hlavní adresáře - zvuk a animace. Adresář zvuk obsahuje vrstvu zvukova_stopa, ve které jsou vloženy všechny zvukové stopy. Adresář animace se dělí na vrstvy nebo další adresáře s vrstvami podle příslušnosti k jednotlivým částem animace, viz obrázek 5-2.



Obrázek 5-2 Rozdělení animace na adresáře a vrstvy

Vzhled celé animace je rozdělen do 5 částí - název komunikační technologie, titulek probíhající animace, samotná animace, komentář k probíhající animaci, ovládací prvky s časovou osou, viz obrázek E-2.

Spuštění animace z menu animace je vytvořeno pomocí instance na objekt „new Loader()“ a zavoláním funkce „xxxx.load()“ s argumentem místa uložení spouštěné animace, např. „new URLRequest("zakladni_informace.swf")“. Pro možnost vrácení se ze spuštěné animace do menu animace je při spouštění zaregistrován posluchač „xxx.addEventListener()“, který při vyvolání události „close“ ze spuštěné animace, ukončí objekt „new Loader()“, viz obrázek 5-3.

```

1 var _swfContent:MovieClip;
2 var my_loader:Loader = new Loader();
3
4 function setupListeners(dispatcher:IEventDispatcher):void {
5     dispatcher.addEventListener(Event.COMPLETE, addSWF);
6 }
7 function addSWF(event:Event):void {
8     event.target.removeEventListener(Event.COMPLETE, addSWF);
9     _swfContent = event.target.content;
10    _swfContent.addEventListener("close", unloadSWF);
11    addChild(_swfContent);
12 }
13 //tlacitko "zakladni_informace"
14 zakladni_informace.addEventListener(MouseEvent.CLICK, zakladni_informace1);
15 function zakladni_informace1(event:MouseEvent):void {
16     setupListeners(my_loader.contentLoaderInfo);
17     my_loader.load(new URLRequest("zakladni_informace.swf"));
18     addChild(my_loader);
19 }
20 //zavření spuštěné animace
21 function unloadSWF(event:Event):void {
22     my_loader.unloadAndStop();
23     removeChild(_swfContent);
24     _swfContent = null;
25 }

```

Funkce pro vyvolání události "close" ve spuštěné animaci.

```

1 var _closeEvent:Event = new Event("close", true, false);
2 //STOPtlacitkostop
3 TlacitkoStop.addEventListener(MouseEvent.CLICK, Stop);
4 function Stop(event:MouseEvent):void {
5     gotoAndStop(1);
6     dispatchEvent(_closeEvent);
7 }

```

Obrázek 5-3 Zdrojový kód s funkcemi pro spuštění a ukončení animace z menu animace

6. Závěr

Přenosové rychlosti a požadavky na rozhraní se neustále zvyšují, proto museli výrobci investovat nemalé peníze do vývoje nových typů rozhraní USB s cílem udržet toto nejrozšířenější rozhraní na světě na prvním místě. Podobných, nebo i lepších, parametrů dosahují i jiné typy rozhraní, např. SATA III, ale výhody zpětné kompatibility USB 3.0 se staršími verzemi USB jistě překonají menší nedostatky a během několika let nahradí v nových zařízeních starší rozhraní USB 2.0. Novinkou mezi rozhraními USB, které se vždy orientovalo jen na kabelové spojení, je bezdrátové rozhraní Wireless USB. Svými vlastnostmi má za cíl nahradit stávající kabelové spojení za bezdrátové a k tomu i jistě velkou měrou přispěje nový typ zařízení - DWA, který tento krok velice usnadňuje.

Wireless USB správně zvolilo bezdrátovou technologii UWB, která má do budoucna velké možnosti zvyšování přenosové rychlosti. To především díky velmi širokému přenosovému pásmu a širokopásmové modulaci OFDM, která zvyšuje odolnost vůči interferenci. Specifikace udává možnost připojení až 127 zařízení, sice není uvedeno, kolik zařízení může být obslouženo během jedné přenosové skupiny, ale lze předpokládat, že princip přenosové skupiny zaručuje komunikaci hostitele s velkým počtem zařízení. Typy přenosů jsou stejné jako u drátové verze USB 2.0, jediná změna je patrná v izochronním přenosu, u kterého je potvrzování přijmutí s možností minimálně jednoho opakování přes servisní interval. Bezpečnost komunikace je zaručena šifrováním AES-128 se symetrickým klíčem, který je vytvořen při prvním navázání spojení. Proti útoku MITM za účelem získání symetrického klíče specifikace je možno se chránit 3 možnými způsoby – NFC, potvrzení shodnosti zobrazených čísel nebo zadání čísla hostiteli zobrazeného na zařízení, proto by neměla jít bezdrátová komunikace odposlouchávat nebo pozměňovat. Wireless USB se postupně integruje do různých typů zařízení, např. zařízení k bezdrátovému přenosu obrazu v HD kvalitě (obrázek C-13) nebo bezdrátový hard disk, viz obrázek C-14.

Přenosová rychlost USB 2.0 limituje již několik let rychlá zařízení, např. velkokapacitní disky, proto vývoj nového rozhraní USB 3.0 byl doopravdy žádoucí. Z naměřených hodnot přenosových rychlostí dvou zařízení USB 2.0 připojených do portu USB 3.0 vyplývá, že ačkoliv zařízení nepodporuje nové rozhraní, průměrně se přenosová rychlost zvýšila u čtení o 17,3 % a u zápisu o 10,55%. Toto zvýšení je charakteristické především pro oblast malých velikostí bloků dat, oproti připojení do staršího rozhraní USB 2.0. Zvýšení přenosové rychlosti je způsobeno jednak novým typem řadiče USB 2.0 integrovaného do řadiče USB 3.0 a také novými ovladači, které urychlují komunikaci s uživatelskými aplikacemi. Při měření přenosové rychlosti zařízení s USB 3.0 připojeného do portu USB 2.0 se dokonce zvýšila maximální rychlost rozhraní USB 2.0 z 28 310 kB/s (hard disk WD Scorpio 160GB v boxu s USB 2.0) na 30 438 kB/s, což představuje zrychlení o 7,51 %.

Analýza navázání spojení byla provedena pro oba typy rozhraní USB 2.0 i USB 3.0. Zařízení ASUS M-UV55a s USB 2.0, které komunikovalo rychlostí „Full-speed“ bylo analyzováno hardwarovým protokolovým analyzátozem Beagle USB 12, který velice přehledně zobrazil každou řídicí transakci do rozevíracího seznamu. První zprávou byl SETUP, následovaný datovými pakety a dokončení transakce zprávou OUT = STATUS. Tento program však nepodporuje dekodování přenášených dat. Proto byla provedena analýza stejného zařízení i softwarovým analyzátozem Wireshark, který zobrazuje přenášené zprávy odděleně, ale dekóduje přenášená data. Nejlepší dekodování přenášených dat poskytoval softwarový analyzátor USBlyzer, který je přehledně zobrazil

v jednom výpisu. Spojovací procedura se skládá z 6 základních částí, ve kterých žádá hostitel informace o zařízení, konfigurační informace, textové informace, přiděluje zařízení adresu, nastavuje zařízení a aktivuje ho pro používání. Další zařízení musela být analyzována jen softwarovým analyzátozem Wireshark, protože hardwarový analyzátor Beagle USB nedokázal analyzovat rychlejší komunikaci než „Full-speed“. Spojovací procedura je shodná i pro další zařízení Kingston DataTraveler 1GB s USB 2.0, ale jelikož se jedná o velkokapacitní zařízení, je navíc doplněna částí, ve které hostitel zjišťuje počet logických jednotek v zařízení. U posledního analyzovaného zařízení ADATA S102 8GB s USB 3.0 se vyskytl nedostatek softwarového analyzátoru Wireshark, který neuměl dekodovat první požadavek hostitele o informace o zařízení a přidělení adresy. Lze předpokládat, že tato chyba bude časem odstraněna v novější verzi programu. Další části jsou opět totožné s předešlými zařízení Kingston DataTraveler 1GB. Po úspěšné spojovací proceduře byla u rozhraní USB 3.0 analyzována i další 2 řídicí transakce - testování připravenosti logické jednotky v zařízení a žádost o velikost dostupné kapacity paměti. Analýza vstupního hromadného přenosu byla provedena dle teoretických předpokladů, skládala se ze žádosti o data, datového paketu a potvrzení o úspěšnosti přenosu. Výstupní hromadný přenos měl oproti teoretickým předpokladům o 1 zprávu navíc, kdy nejdříve hostitel informoval zařízení, kam chce zapsat data a poté až poslal datový paket, přenos byl opět dokončen potvrzením o úspěšnosti přenosu.

Pro výukové účely je vytvořeno celkem 14 animací vysvětlujících obě komunikační rozhraní a 2 animace ve formě menu. Skládají se z 8 animací o USB 3.0 a 6 animací o Wireless USB. Animace jsou dvojího druhu - se zvukem a bez zvuku, komentář pro vysvětlení probíhající animace je u obou typů. Pro snadnější spouštění animací patřících do daného komunikačního rozhraní je k dispozici menu ve formě animace, které umožňuje spouštět animace a kdykoliv se vrátit zpět na výběr animací.

Literatura

- [1] Advanced Encryption Standard. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1. Dubna 2010, last modified on 15. Února 2011 [cit. 2011-02-18]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard>.
- [2] Bit error rate. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 25. Února 2002, last modified on 28. Ledna 2011 [cit. 2011-02-22]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bit_error_rate>.
- [3] BUČINA, Tomáš. *PC World* [online]. 1. Zář 2000 [cit. 2011-01-21]. Cesta do hlubin USB - Historie USB. Dostupné z WWW: <<http://pcworld.cz/hardware/cesta-do-hlubin-usb-historie-usb-15864>>.
- [4] CARR, Mike. *Test & Measurement World* [online]. 3. Ledna 2009 [cit. 2011-01-23]. Testing WiMedia UWB. Dostupné z WWW: <http://www.tmworld.com/article/319178-Testing_WiMedia_UWB.php>.
- [5] Cyclic redundancy check. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 12. Února 2002, last modified on 18. Února 2011 [cit. 2011-02-19]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_redundancy_check>.
- [6] D-H. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 20. Zář 2001, last modified on 28. Ledna 2011 [cit. 2011-02-02]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/D-H>>.
- [7] Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, NEC, ST-NXP Wireless, Texas Instruments. *Universal Serial Bus 3.0 Specification* [online]. [s.l.] : [s.n.], November 12, 2008 [cit. 2011-03-03]. Dostupné z WWW: <http://www.usb.org/developers/docs/usb_30_spec_020411.zip>.
- [8] Hewlett-Packard, Intel, LSI, Microsoft, NEC, Samsung, ST-Ericsson. *Wireless Universal Serial Bus Specification 1.1* [online]. [s.l.] : [s.n.], September 9, 2010 [cit. 2011-03-03]. Dostupné z WWW: <http://www.usb.org/developers/wusb/wusb1_1_20100910.zip>.
- [9] ISMAIL, Rahman. Certified Wireless USB Architecture Overview. In [online]. [s.l.] : [s.n.], 2007 [cit. 2011-03-03]. Dostupné z WWW: <http://www.usb.org/developers/wusb/docs/presentations/2007/Ismail_-_Architecture_Overview.pdf>.
- [10] Linková vrstva. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 17. Zář 2005, last modified on 15. Ledna 2011 [cit. 2011-01-26]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Linkov%C3%A1_vrstva>.
- [11] LITTSCHWAGER, Thomas. *CHIP online* [online]. 11. Března 2010 [cit. 2011-01-21]. 10 otázek o USB 3.0. Dostupné z WWW: <<http://www.chip.cz/clanky/trendy/2010/03/10-otazek-o-usb-3.0>>.

[12] MALÝ, Martin. *HW.CZ* [online]. 19. Duben 2005 [cit. 2011-01-27]. USB 2.0 - Typy a formáty přenosů. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Rozhrani/ART1264-USB-2.0---Typy-a-formaty-prenosu.html>>.

[13] Man in the middle. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 8. Ledna 2009, last modified on 12. Prosince 2010 [cit. 2011-01-24]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Man_in_the_middle>.

[14] MEDVEDEV, Alexander. *IXBT Labs* [online]. 2005 [cit. 2011-01-23]. Ultra Wide Band Wireless Data Transfer Technology. Dostupné z WWW: <<http://ixbtlabs.com/articles2/uwb/>>.

[15] Near field communication. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 11. Prosince 2003, last modified on 31. Ledna 2011 [cit. 2011-02-02]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication>.

[16] OFDM. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 9. Července 2005, last modified on 27. Srpna 2010 [cit. 2011-01-22]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/OFDM>>.

[17] PETERKA, Jiří. *EArchiv* [online]. 19. Listopadu 1996 [cit. 2011-01-22]. Bezdrátové přenosy. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a96/a647k150.php3>>.

[18] TICHOVSKÝ, Martin. *CZC* [online]. 22. Srpna 2008 [cit. 2011-01-21]. První předběžné testy rozhraní USB 3.0. Dostupné z WWW: <http://www.czechcomputer.cz/art_doc-3AA3A300E73C3AE4C12574AD002CE2B2.html>.

[19] TOUŠEK, Dominik. *Wiki-sps-pi* [online]. 11. Června 2010, 21. Června 2010 [cit. 2011-01-21]. USB 1.0, 1.1, 2.0, 3.0. Dostupné z WWW: <http://www.wiki.sps-pi.com/index.php/USB_1.0,_1.1,_2.0,_3.0>.

[20] Ultra-wideband. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 21. Ledna 2011, last modified on 7. Ledna 2003 [cit. 2011-01-22]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>>.

[21] Universal Serial Bus. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2001, last modified on 21. Ledna 2011 [cit. 2011-01-21]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus>.

[22] Wireless USB. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 3. Února 2005, last modified on 18. Ledna 2011 [cit. 2011-01-21]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_USB>.

[23] Wireless USB. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 29. Prosince 2010, last modified on 3. Ledna 2011 [cit. 2011-01-21]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wireless_USB>.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 Konektor microUSB	1
Příloha 2 Blokové schéma USB 3.0 [7]	1
Příloha 3 Komunikační vrstvy sběrnice USB 3.0 s napájecím řízením [7]	2
Příloha 4 Datový kabel USB 3.0	2
Příloha 5 Konektor STANDART-A USB 3.0	3
Příloha 6 Konektor STANDART-B USB 3.0	3
Příloha 7 Konektor micro STANDART-B USB 3.0	3
Příloha 8 Kódování 8b na 10b a dekódování 10b na 8b [7]	4
Příloha 9 Převod z paralelních na sériové bity a opačně [7]	4
Příloha 10 Přijímací a vysílací diagram USB 3.0	5
Příloha 11 Hlavička pro zapouzdření paket	6
Příloha 12 Kontrolní linkové slovo	6
Příloha 13 Linkový datový paket s hlavičkou a užitečnými daty	6
Příloha 14 Linkový příkaz	7
Příloha 15 Struktura „Set Link Function“ paketu [7]	7
Příloha 16 Struktura „Port Capabilities“ paketu [7]	7
Příloha 17 Struktura „Acknowledgement“ paketu [7]	7
Příloha 18 Struktura „Not Ready“ paketu [7]	7
Příloha 19 Struktura „Endpoint Ready“ paketu [7]	8
Příloha 20 Struktura „STATUS“ paketu [7]	8
Příloha 21 Struktura „STALL“ paketu [7]	8
Příloha 22 Struktura „PING“ paketu [7]	8
Příloha 23 Struktura datový paketu [7]	9
Příloha 24 Struktura paketu izochronní časové značky [7]	9
Příloha 25 Řídící transakce čtení a zápis	9
Příloha 26 Vstupní hromadná transakce	10
Příloha 27 Výstupní hromadná transakce	11
Příloha 28 Vstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu	12
Příloha 29 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve vstupní přerušovací transakci	12
Příloha 30 Vstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující	13
Příloha 31 Vstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení	13
Příloha 32 Výstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu	13
Příloha 33 Výstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující	14
Příloha 34 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve výstupní přerušovací transakci	14
Příloha 35 Výstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení	14
Příloha 36 Vstupní izochronní přenos	15
Příloha 37 Výstupní izochronní přenos	15
Příloha 38 Bitové hodnoty linkových příkazů	16
Příloha 39 Hodnoty pole Typ dle typu paketu [7]	16
Příloha 40 Různé využití WUSB	17

Příloha 41 Nahrazení kabelového spojení bezdrátovým DWA adaptérem	17
Příloha 42 DRD digitální fotoaparát	17
Příloha 43 Formát rámce fyzické vrstvy	18
Příloha 44 Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti zařízení od hostitele [9].....	18
Příloha 45 Obsazení skupin dle regionů.....	19
Příloha 46 Použití více nosných a jejich vzájemná ortogonalita.....	19
Příloha 47 MAS rezervované DRP pro MMC	20
Příloha 48 Formát rámce protokolové vrstvy zapouzdřený MAC vrstvou	20
Příloha 49 Rozdíl v přenosovém protokolu mezi USB 2.0 a WUSB 1.1	21
Příloha 50 Určené časové sekce pro příjem/vysílání dat v MMC	21
Příloha 51 Řídící přenos s datovou fází	21
Příloha 52 Imation Link Wireless USB zařízení pro přenos obrazu	22
Příloha 53 Wireless USB hard disk Imation Pro WX 1.5 TB	22
Příloha 54 Přenosové rychlosti dle použitých modulací	22
Příloha 55 Užitečná data v servis. interv. podle vyrovnávací paměti a velikosti paketu [8].....	23
Příloha 56 Flash disk ADATA S102 8GB s USB 3.0	23
Příloha 57 Flash disk Kingston DataTraveler 1GB.....	23
Příloha 58 Box MSI a hard disk Wester Digital Scorpio Black 160GB	24
Příloha 59 Základní deska GIGABYTE 880GMA-UD2H	24
Příloha 60 Beagle USB 12 protokolový analyzátor	24
Příloha 61 Asus M-UV55a.....	25
Příloha 62 Struktura transakce o popis zařízení – „Get Device Descriptor“	25
Příloha 63 Struktura transakce přidělení adresy zařízení – „Set Address“	26
Příloha 64 Struktura transakce o popis zařízení po přidělení adresy – „Get Device Descriptor“	27
Příloha 65 Struktura transakce o popis konfigurace zařízení – „Get Device Descriptor“	28
Příloha 66 Struktura transakce slovního popisu zařízení – „Get String Descriptor“	29
Příloha 67 Struktura transakce nastavení konfigurace – „Set Configuration“	30
Příloha 68 Struktura transakce řídicího přenosu – „Control Transfer“	31
Příloha 69 Struktura vstupní datové transakce	32
Příloha 70 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0	33
Příloha 71 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0.....	34
Příloha 72 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0	35
Příloha 73 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0.....	36
Příloha 74 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 3.0	37
Příloha 75 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu	38
Příloha 76 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0.....	39
Příloha 77 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu	40
Příloha 78 Porovnání průměrných přenosových rychlostí flash disků ADATA S102 8GB na portu USB 3.0 a Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0	41
Příloha 79 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0.....	42
Příloha 80 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0	43
Příloha 81 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0.....	44
Příloha 82 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0	45

Příloha 83 Seznam různých naměřených hodnot nebo zlepšení při použití portu USB 3.0.....	46
Příloha 84 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0	47
Příloha 85 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 2.0	47
Příloha 86 Porovnání průměrná přenosová rychlosti sekvenčního čtení flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0	48
Příloha 87 Porovnání průměrná přenosová rychlosti sekvenčního zápisu flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0.....	48
Příloha 88 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 3.0	49
Příloha 89 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 2.0	49
Příloha 90 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0.....	50
Příloha 91 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0.....	50
Příloha 92 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 3.0	51
Příloha 93 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 2.0	51
Příloha 94 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0	52
Příloha 95 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0.....	52
Příloha 96 Základní animace – menu WUSB	53
Příloha 97 Rozdělení animace na části.....	53
Příloha 98 CD s výukovými animacemi ve formátu .swf, .fla a použité elektronické materiály	

A. Úvod

Příloha 1 Konektor microUSB

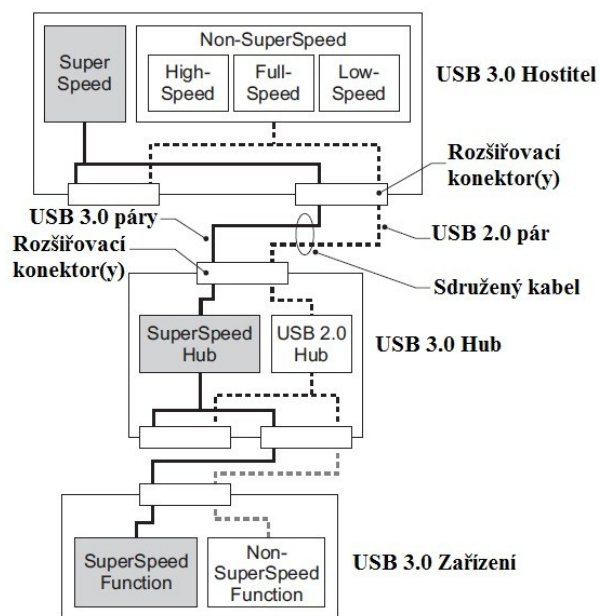


Obrázek A-1 Konektor microUSB

Zdroj: http://www.mackozer.pl/wp-content/uploads/2009/06/micro_usb_db-600x682.jpg

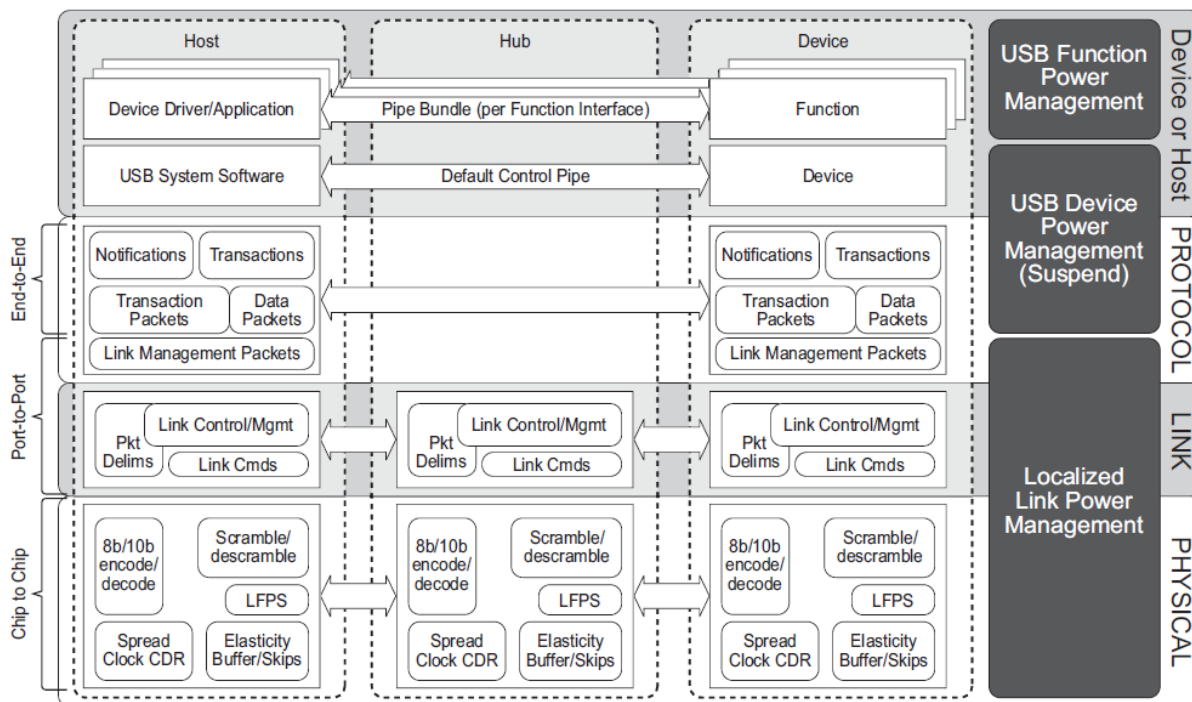
B. USB 3.0

Příloha 2 Blokové schéma USB 3.0 [7]



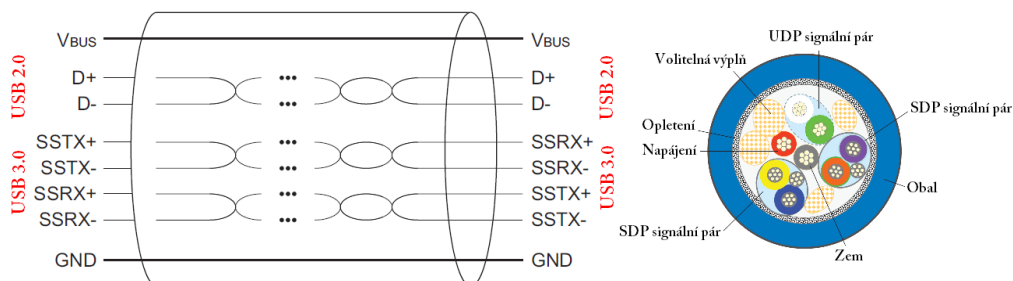
Obrázek B-1 Blokové schéma USB 3.0 [7]

Příloha 3 Komunikační vrstvy sběrnice USB 3.0 s napájecím řízením [7]



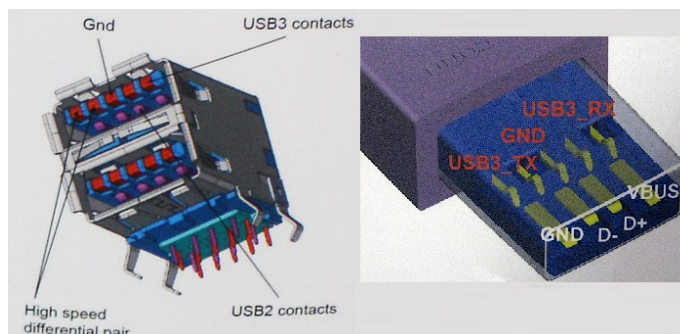
Obrázek B-2 Komunikační vrstvy sběrnice USB 3.0 s napájecím řízením [7]

Příloha 4 Datový kabel USB 3.0



Obrázek B-3 Datový kabel USB 3.0

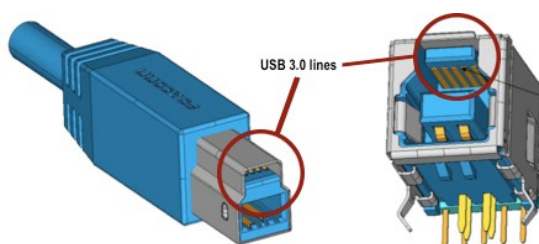
Příloha 5 Konektor STANDART-A USB 3.0



Obrázek B-4 Konektor STANDART-A USB 3.0

Zdroj: <http://www.mobilewhack.com/intel-closer-to-finishing-usb-30/>

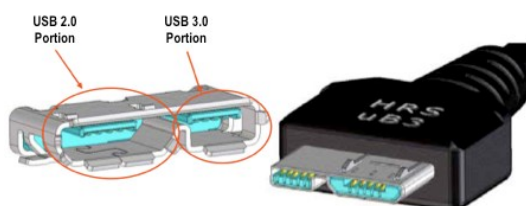
Příloha 6 Konektor STANDART-B USB 3.0



Obrázek B-5 Konektor STANDART-B USB 3.0

Zdroj: http://www.reghardware.com/2009/05/25/superspeed_usb_3_guide/page3.html

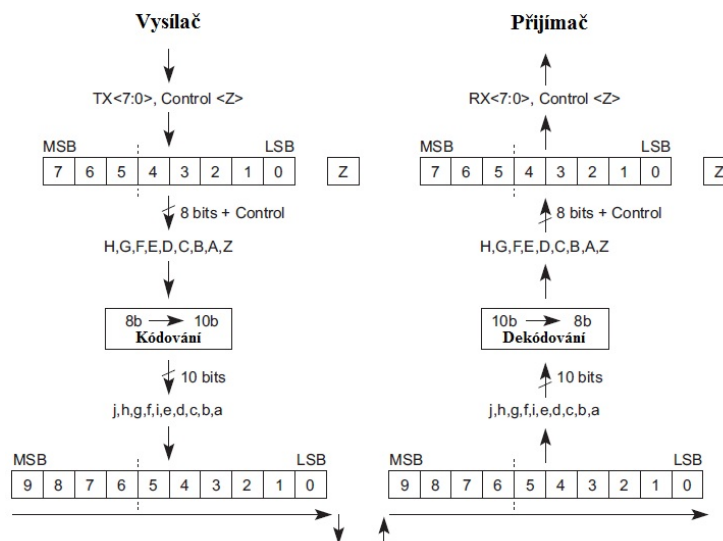
Příloha 7 Konektor micro STANDART-B USB 3.0



Obrázek B-6 Konektor micro STANDART-B USB 3.0

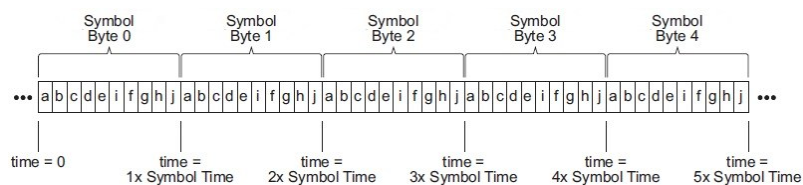
Zdroj: http://www.reghardware.com/2009/05/25/superspeed_usb_3_guide/page3.html

Příloha 8 Kódování 8b na 10b a dekódování 10b na 8b [7]



Obrázek B-7 Kódování 8b na 10b a dekódování 10b na 8b [7]

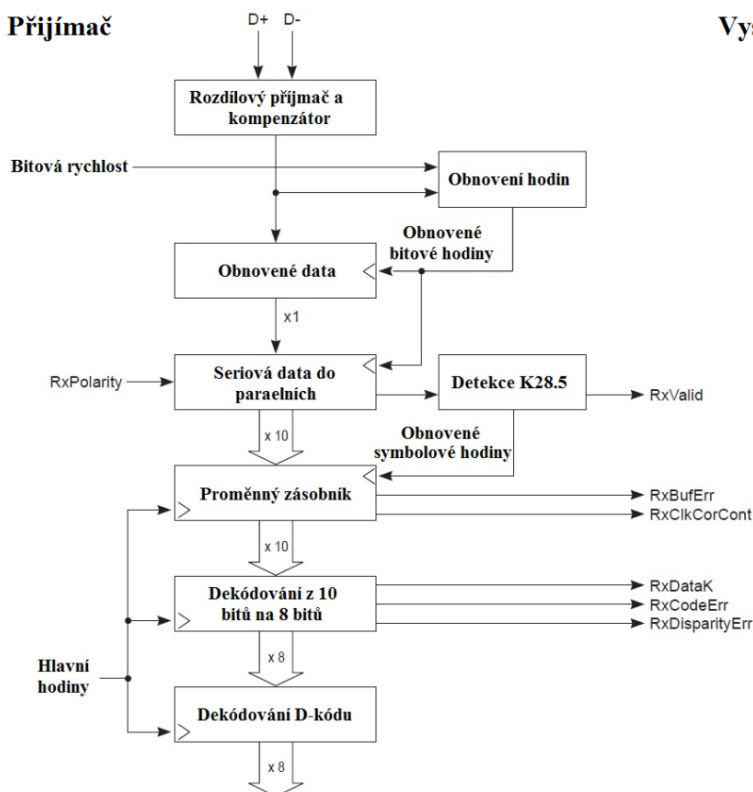
Příloha 9 Převod z paralelních na sériové bity a opačně [7]



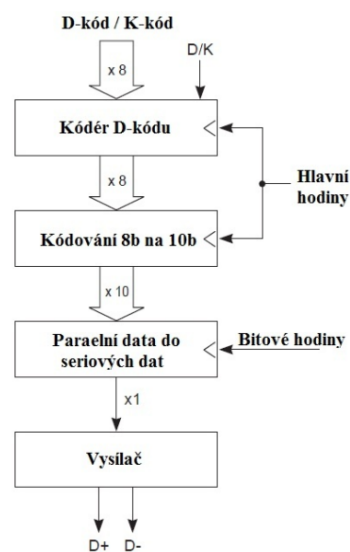
Obrázek B-8 Převod z paralelních na sériové bity a opačně [7]

Příloha 10 Přijímací a vysílací diagram USB 3.0

Přijímač

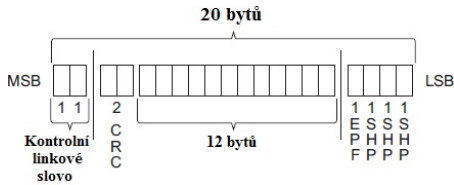


Vysílač



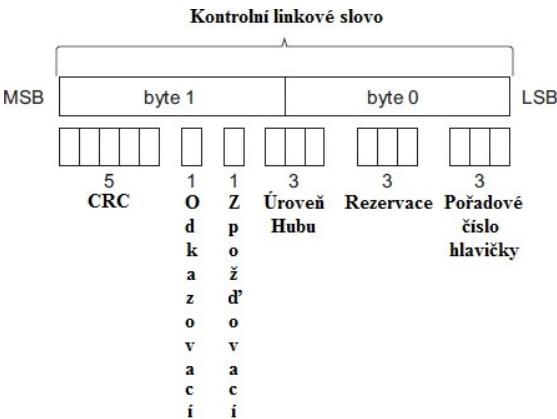
Obrázek B-9 Přijímací a vysílací diagram USB 3.0

Příloha 11 Hlavička pro zapouzdření paket



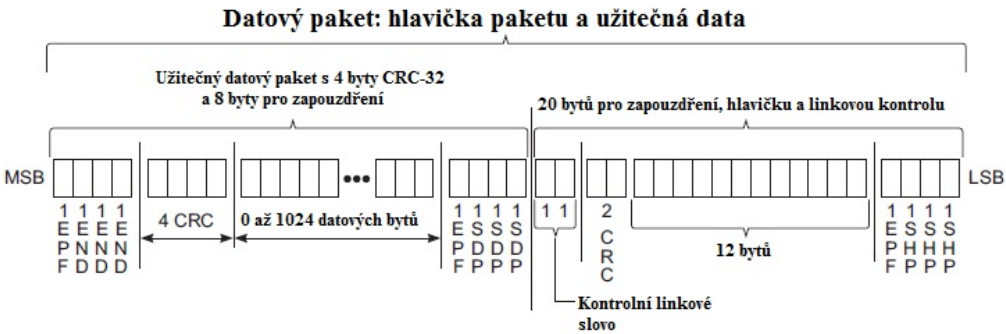
Obrázek B-10 Hlavička pro zapouzdření paket

Příloha 12 Kontrolní linkové slovo



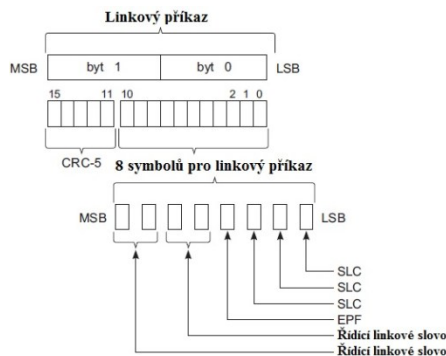
Obrázek B-11 Kontrolní linkové slovo

Příloha 13 Linkový datový paket s hlavičkou a užitečnými daty



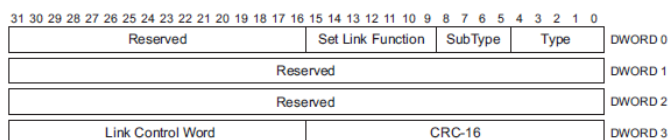
Obrázek B-12 Linkový datový paket s hlavičkou a užitečnými daty

Příloha 14 Linkový příkaz



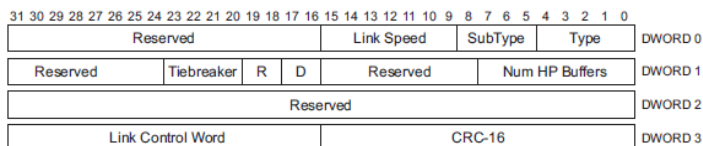
Obrázek B-13 Linkový příkaz

Příloha 15 Struktura „Set Link Function“ paketu [7]



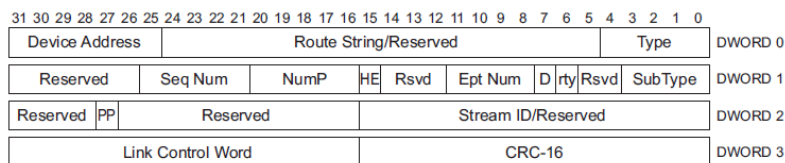
Obrázek B-14 Struktura „Set Link Function“ paketu [7]

Příloha 16 Struktura „Port Capabilities“ paketu [7]



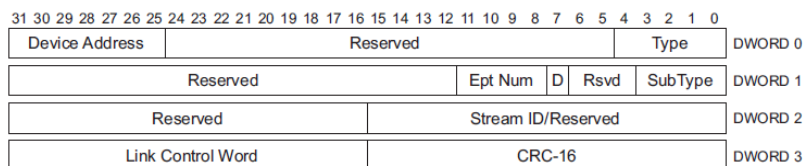
Obrázek B-15 Struktura „Port Capabilities“ paketu [7]

Příloha 17 Struktura „Acknowledgement“ paketu [7]



Obrázek B-16 Struktura „Acknowledgement“ paketu [7]

Příloha 18 Struktura „Not Ready“ paketu [7]



Obrázek B-17 Struktura „Not Ready“ paketu [7]

Příloha 19 Struktura „Endpoint Ready“ paketu [7]

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Device Address								Reserved																Type				DWORD 0			
Reserved								NumP				Reserved				Ept Num				D		Rsvd		SubType		DWORD 1					
Reserved																Stream ID/Reserved												DWORD 2			
Link Control Word																CRC-16												DWORD 3			

Obrázek B-18 Struktura „Endpoint Ready“ paketu [7]

Příloha 20 Struktura „STATUS“ paketu [7]

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Device Address								Route String																Type				DWORD 0				
Reserved																		Ept Num				D	Rsvd				SubType		DWORD 1			
Reserved																																DWORD 2
Link Control Word																CRC-16																DWORD 3

Obrázek B-19 Struktura „STATUS“ paketu [7]

Příloha 21 Struktura „STALL“ paketu [7]

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Device Address								Reserved																Type				DWORD 0				
Reserved																		Ept Num				D	Rsvd				SubType		DWORD 1			
Reserved																																DWORD 2
Link Control Word																CRC-16																DWORD 3

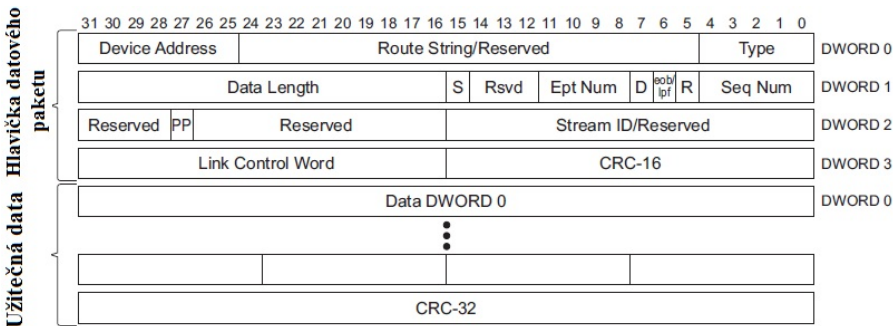
Obrázek B-20 Struktura „STALL“ paketu [7]

Příloha 22 Struktura „PING“ paketu [7]

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Device Address								Route String																Type				DWORD 0				
Reserved																		EPT Num				D	RsvdP				SubType		DWORD 1			
Reserved																																DWORD 2
Link Control Word																CRC-16																DWORD 3

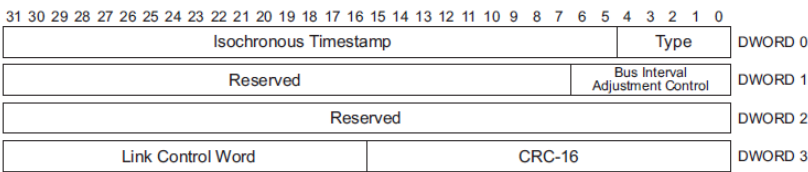
Obrázek B-21 Struktura „PING“ paketu [7]

Příloha 23 Struktura datový paketu [7]



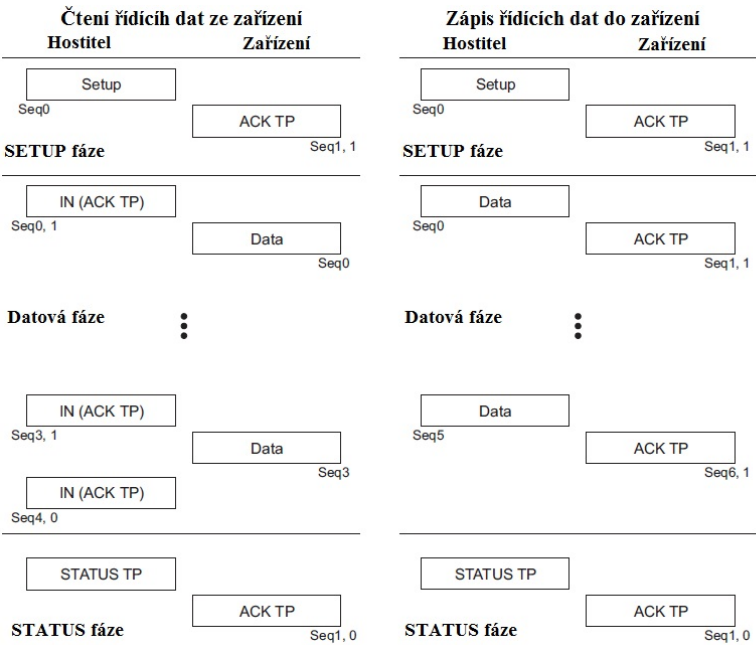
Obrázek B-22 Struktura datový paketu [7]

Příloha 24 Struktura paketu izochronní časové značky [7]



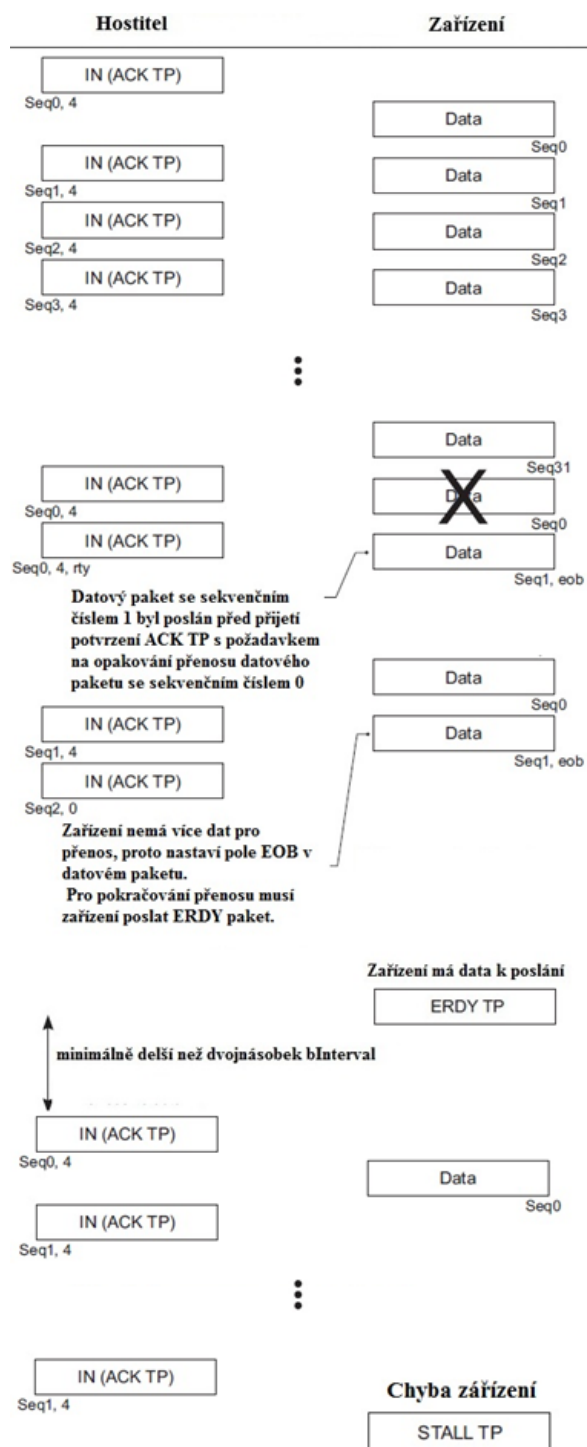
Obrázek B-23 Struktura paketu izochronní časové značky [7]

Příloha 25 Řídící transakce čtení a zápis



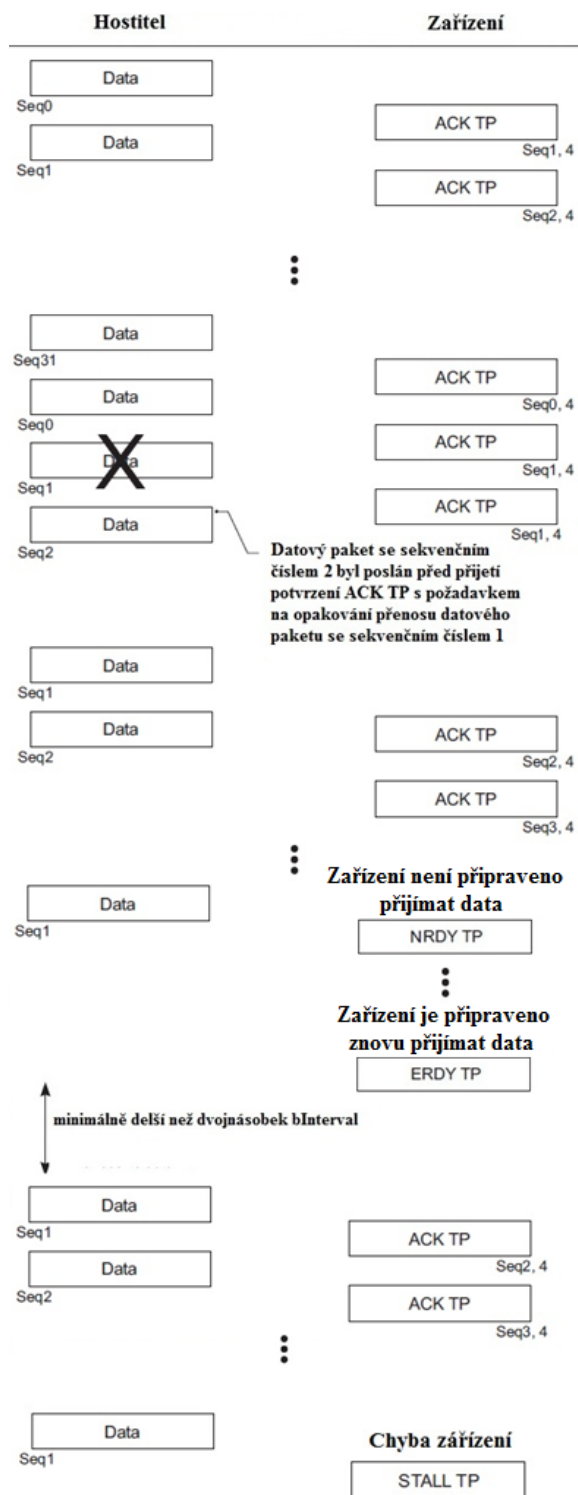
Obrázek B-24 Řídící transakce čtení a zápis

Příloha 26 Vstupní hromadná transakce



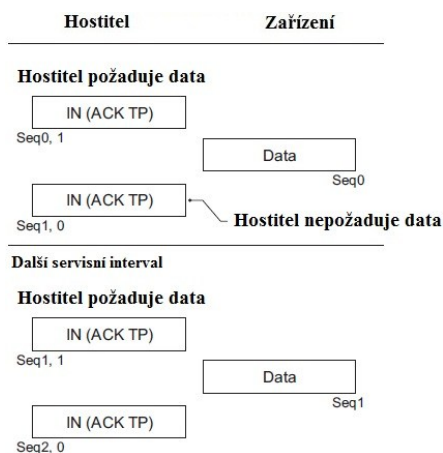
Obrázek B-25 Vstupní hromadná transakce

Příloha 27 Výstupní hromadná transakce



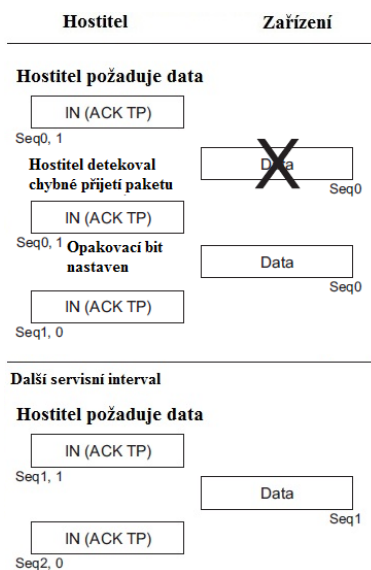
Obrázek B-26 Výstupní hromadná transakce

Příloha 28 Vstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu



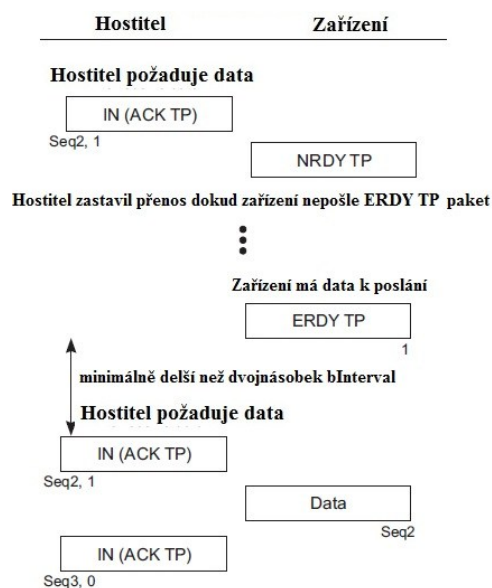
Obrázek B-27 Vstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu

Příloha 29 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve vstupní přerušovací transakci



Obrázek B-28 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve vstupní přerušovací transakci

Příloha 30 Vstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující



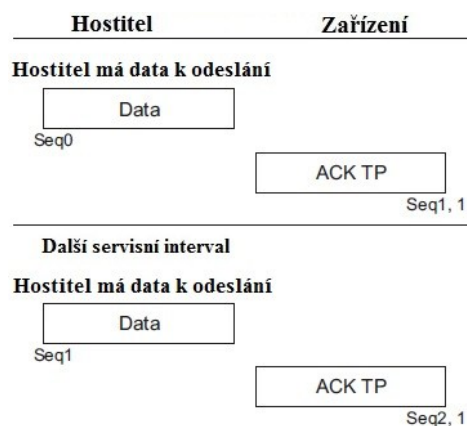
Obrázek B-29 Vstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující

Příloha 31 Vstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení



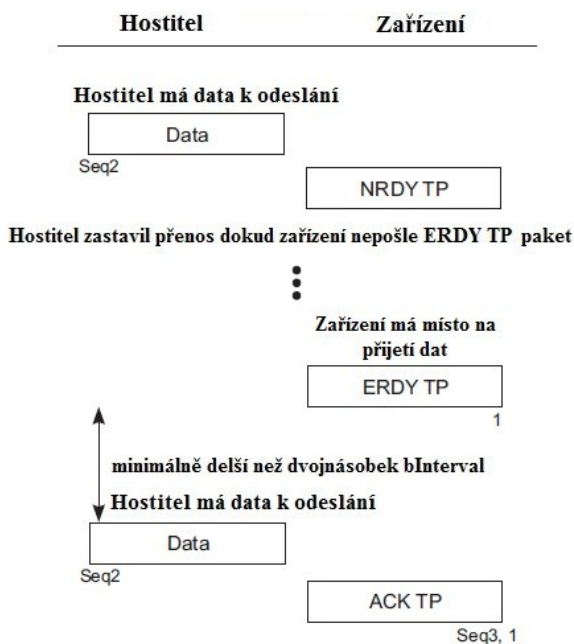
Obrázek B-30 Vstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení

Příloha 32 Výstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu



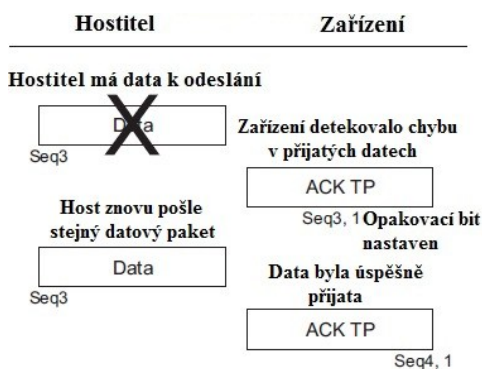
Obrázek B-31 Výstupní přerušovací transakce při bezchybné přenosu

Příloha 33 Výstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující



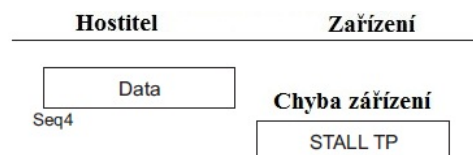
Obrázek B-32 Výstupní přerušovací přenos zastavený a znovu pokračující

Příloha 34 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve výstupní přerušovací transakci



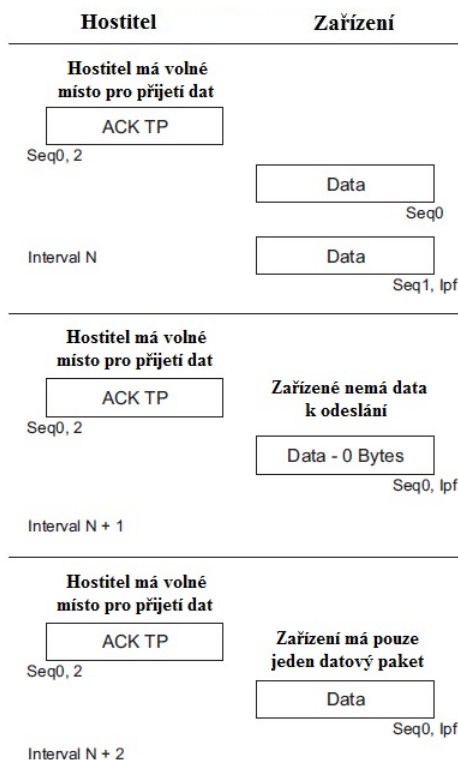
Obrázek B-33 Chyba v přijetí a opakování přenosu ve výstupní přerušovací transakci

Příloha 35 Výstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení



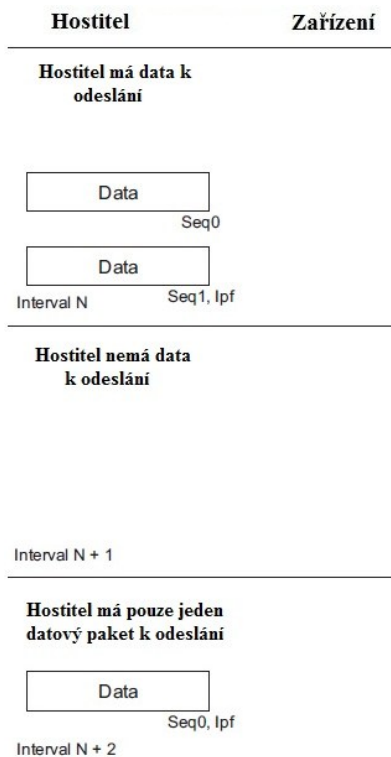
Obrázek B-34 Výstupní přerušovací transakce přerušena chybou zařízení

Příloha 36 Vstupní izochronní přenos



Obrázek B-35 Vstupní izochronní přenos

Příloha 37 Výstupní izochronní přenos



Obrázek B-36 Výstupní izochronní přenos

Příloha 38 Bitové hodnoty linkových příkazů

Třída		Typ	b6~4	Podtyp
b10~9	Linkové příkazy	b8~7		b3~0
00	LGOOD_n LRTY LBAD LCRD_x	00: LGOOD_n	Rezervované (000)	b3: Rezervované b2~0: HP Sequence Number 000: LGOOD_0 001: LGOOD_1 010: LGOOD_2 011: LGOOD_3 100: LGOOD_4 101: LGOOD_5 110: LGOOD_6 111: LGOOD_7
		01: LCRD_x		b3~2: Rezervované b1~0: Rx Header Buffer Credit 00: LCRD_A 01: LCRD_B 10: LCRD_C 11: LCRD_D
		10: LRTY 11: LBAD		Rezervovné (0000)
01	LGO_Ux LAU LXU LPMA	00: LGO_Ux		0001: LGO_U1 0010: LGO_U2 0011: LGO_U3 Ostatní: Rezervované
		01: LAU 10: LXU 11: LPMA		Rezervovné (0000)
10	LUP	00: LUP Ostatní: Rezervované		Rezervovné (0000)
11: Rezervované	Rezervované	Rezervovné (0000)		Rezervovné (0000)

Tabulka B-1 Bitové hodnoty linkových příkazů

Příloha 39 Hodnoty pole Typ dle typu paketu [7]

Šířka (bit)	Offset (DW:bit)	Popis	
5	0:0	<u>Hodnota</u>	<u>Popis</u>
		00000b	Paket linkového řízení (LMP)
		00100b	Transakční paket (TP)
		01000b	Datový paket (DP)
		01100b	Paket izochronní časové značky (ITP)
		Ostatní hodnoty jsou rezervované.	

Tabulka B-2 Hodnoty pole Typ dle typu paketu [7]

C. WUSB

Příloha 40 Různé využití WUSB



Obrázek C-1 Různé využití WUSB

Příloha 41 Nahrazení kabelového spojení bezdrátovým DWA adaptérem



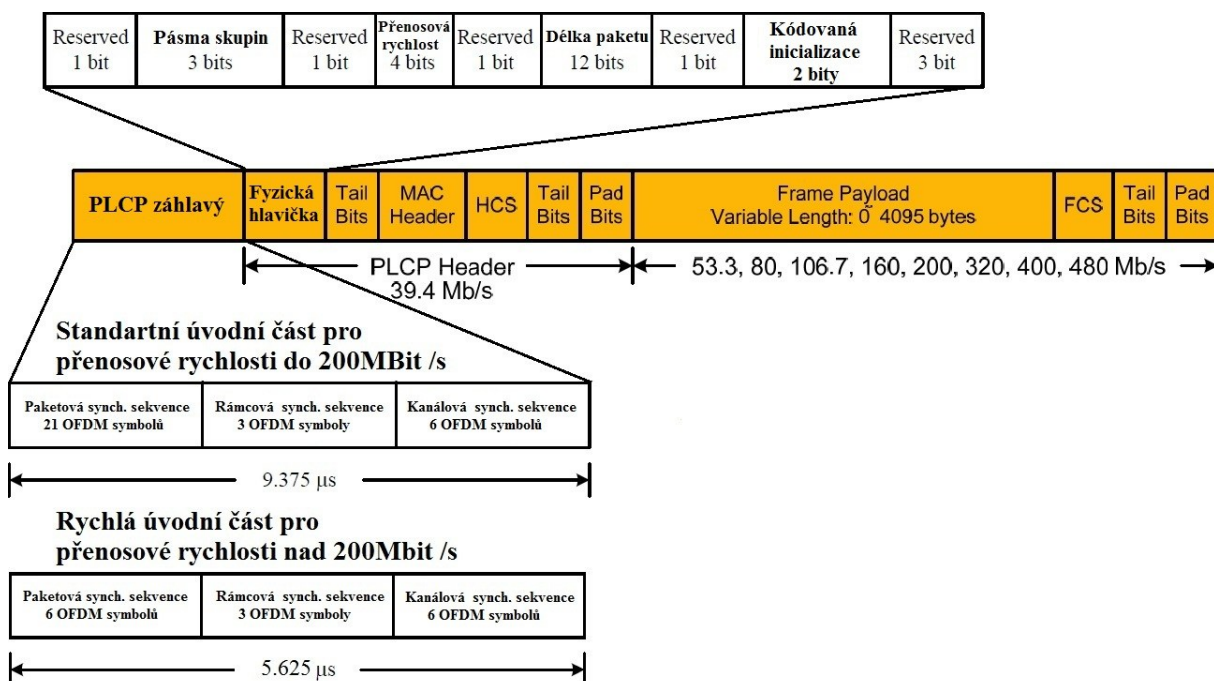
Obrázek C-2 Nahrazení kabelového spojení bezdrátovým DWA adaptérem

Příloha 42 DRD digitální fotoaparát



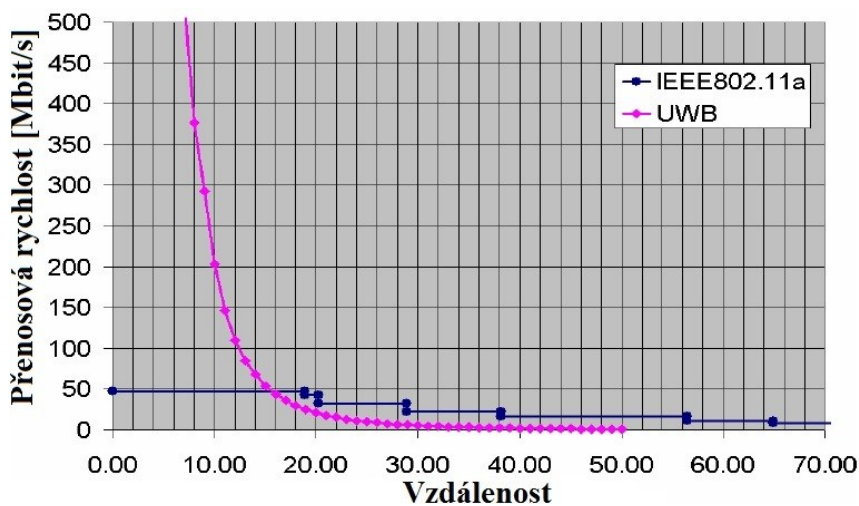
Obrázek C-3 DRD digitální fotoaparát

Příloha 43 Formát rámce fyzické vrstvy



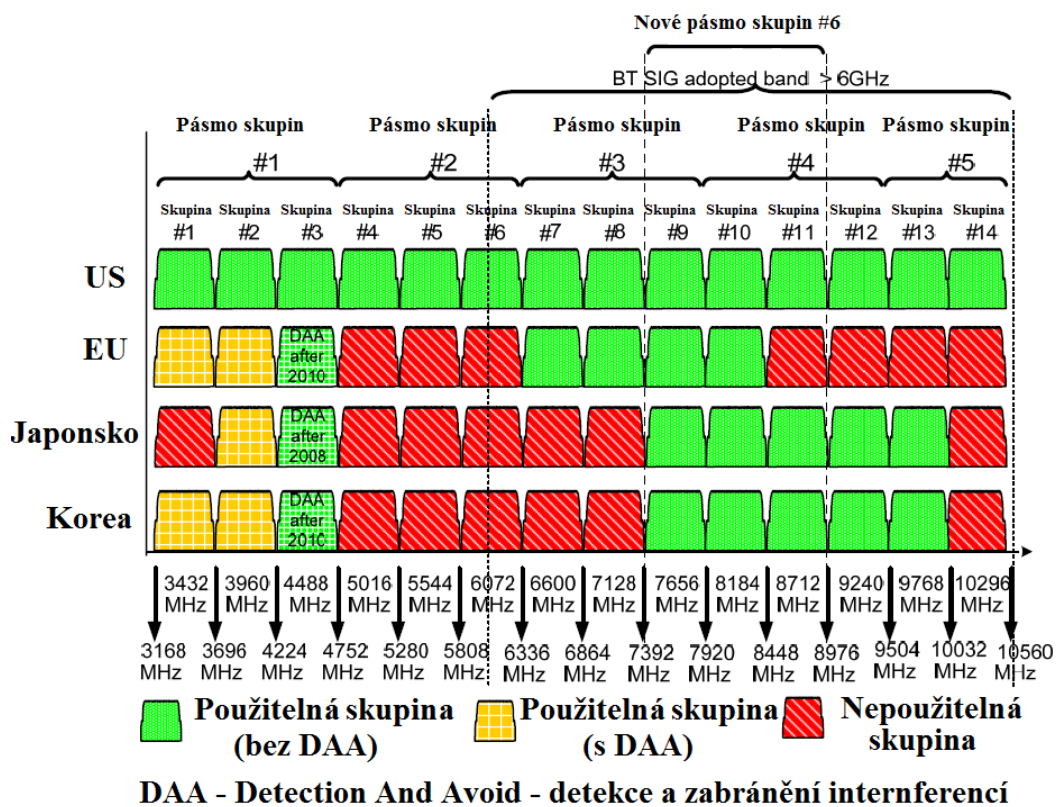
Obrázek C-4 Formát rámce fyzické vrstvy

Příloha 44 Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti zařízení od hostitele [9]

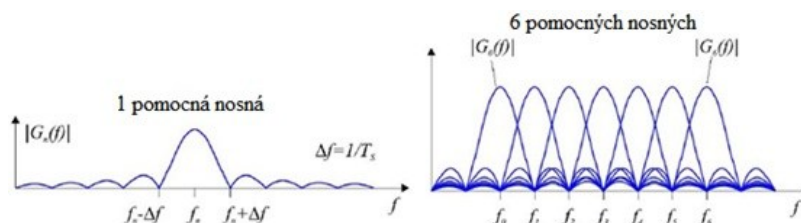


Obrázek C-5 Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti zařízení od hostitele [9]

Příloha 45 Obsazení skupin dle regionů

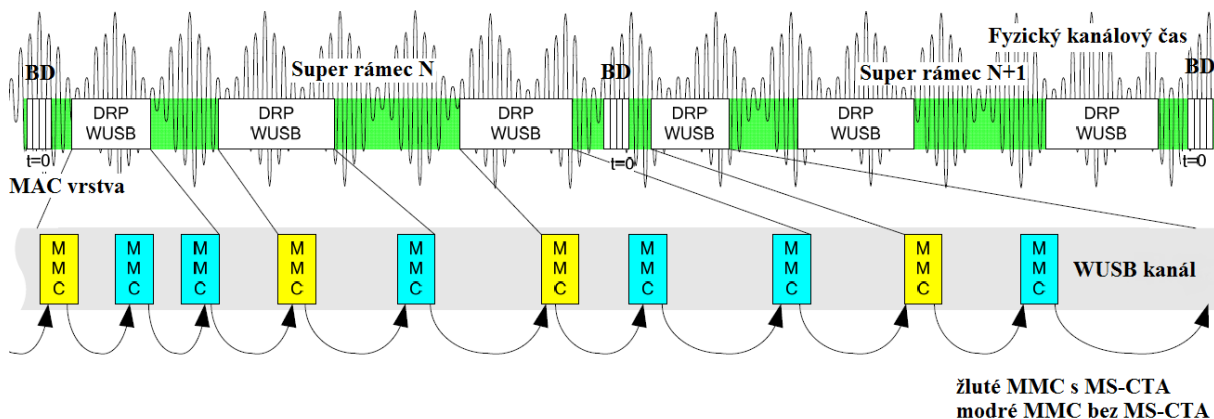


Příloha 46 Použití více nosných a jejich vzájemná ortogonalita



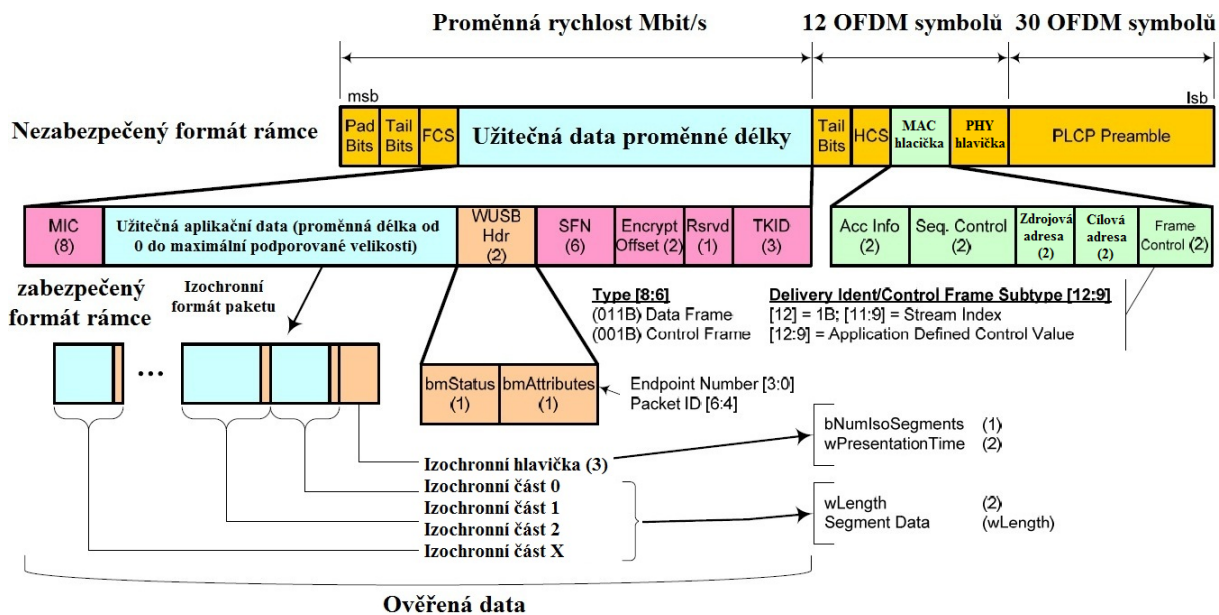
Obrázek C-7 Použití více nosných a jejich vzájemná ortogonalita

Příloha 47 MAS rezervované DRP pro MMC



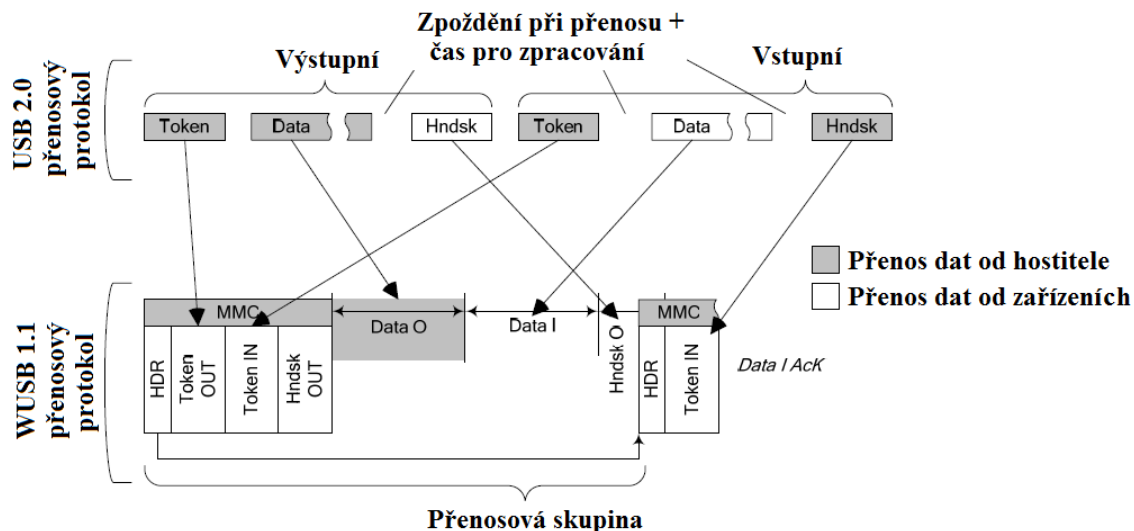
Obrázek C-8 MAS rezervované DRP pro MMC

Příloha 48 Formát rámce protokolové vrstvy zapouzdřený MAC vrstvou



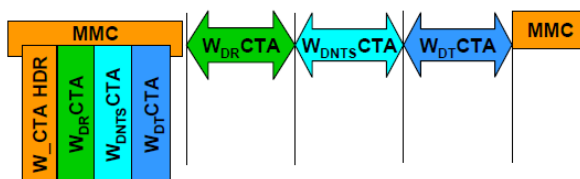
Obrázek C-9 Formát rámce protokolové vrstvy zapouzdřený MAC vrstvou

Příloha 49 Rozdíl v přenosovém protokolu mezi USB 2.0 a WUSB 1.1



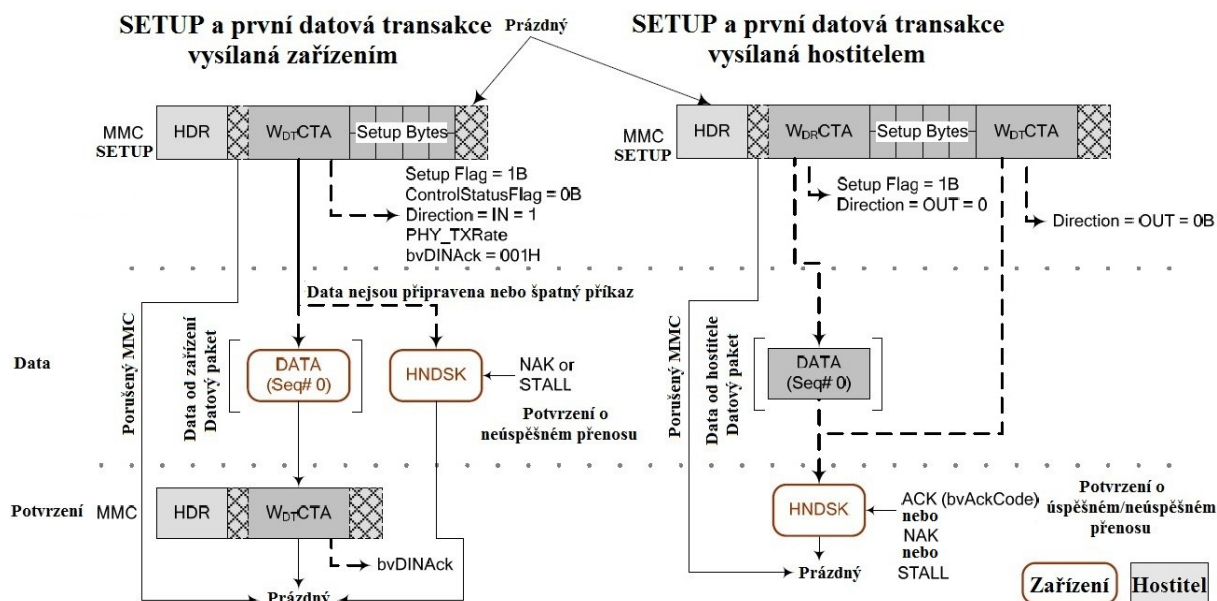
Obrázek C-10 Rozdíl v přenosovém protokolu mezi USB 2.0 a WUSB 1.1

Příloha 50 Určené časové sekce pro příjem/vysílání dat v MMC



Obrázek C-11 Určené časové sekce pro příjem/vysílání dat v MMC

Příloha 51 Řídící přenos s datovou fází



Obrázek C-12 Řídící přenos s datovou fází

Příloha 52 Imation Link Wireless USB zařízení pro přenos obrazu



Obrázek C-13 Imation Link Wireless USB zařízení pro přenos obrazu

Zdroj: <http://www.desinformado.com/2010/09/new-imation-link-wireless-av-extender/>

Příloha 53 Wireless USB hard disk Imation Pro WX 1.5 TB



Obrázek C-14 Wireless USB hard disk Imation Pro WX 1.5 TB

Zdroj: <http://www.hitechreview.com/it-products/imation-launches-pro-wx-wireless-usb-hard-drive/19982/>

Příloha 54 Přenosové rychlosti dle použitých modulací

Data rate (Mb/s)	Modulation	Coding rate	Conj. Sym-metric to IFFT	Time spreading	spread-ing gain	Coded bits / 6 OFDM symbol
53.3*	QPSK	1/3	Yes	2	4	300
80	QPSK	1/2	Yes	2	4	300
106.7*	QPSK	1/3	No	2	2	600
160	QPSK	1/2	No	2	2	600
200*	QPSK	5/8	No	2	2	600
320	DCM	1/2	No	1	1	1200
400	DCM	5/8	No	1	1	1200
480	DCM	3/4	No	1	1	1200

Tabulka C-1 Přenosové rychlosti dle použitých modulací

Zdroj: Sung-Woo Choin A Fec architektury efor UWB system

Příloha 55 Užitečná data v servis. interv. podle vyrovnávací paměti a velikosti paketu [8]

Velikost vyrovnávací paměti	Maximální velikost paketu	Užitečná data v servisním intervalu
1	1 to 3584	1-3584
2	257 to 3584	513-7168
3	342 to 3584	1025-10752
4	385 to 3584	1537 – 14336
5	410 to 3584	2049 – 17920
6	427 to 3580	2561 – 21475
7	439 to 3068	3073 – 21475
8	449 to 2685	3585 – 21475
9	456 to 2387	4097 – 21475
10	461 to 2148	4609 – 21475
11	466 to 1953	5121 – 21475
12	470 to 1790	5633 – 21475
13	473 to 1652	6145 – 21475
14	476 to 1534	6657 – 21475
15	478 to 1432	7169 – 21475
16	481 to 1343	7681 – 21475

Tabulka C-2 Užitečná data v servis. interv. podle vyrovnávací paměti a velikosti paketu [8]**D. Měření rychlosti a analýza navázání spojení USB****Příloha 56 Flash disk ADATA S102 8GB s USB 3.0****Obrázek D-1 Flash disk ADATA S102 8GB s USB 3.0**

Zdroj: http://www.adata-group.com/?action=product_feature&cid=&piid=119

Příloha 57 Flash disk Kingston DataTraveler 1GB**Obrázek D-2 Flash disk Kingston DataTraveler 1GB**

Zdroj: <http://www.kingston.com/press/2005/flash/09a.asp>

Příloha 58 Box MSI a hard disk Wester Digital Scorpio Black 160GB



Obrázek D-3 Box MSI a hard disk Wester Digital Scorpio Black 160GB

Příloha 59 Základní deska GIGABYTE 880GMA-UD2H



Obrázek D-4 Základní deska GIGABYTE 880GMA-UD2H

Zdroj: <http://www.legitreviews.com/article/1387/3/>

Příloha 60 Beagle USB 12 protokolový analyzátor



Obrázek D-5 Beagle USB 12 protokolový analyzátor

Zdroj: http://www.totalphase.com/products/usb_ext/

Příloha 61 Asus M-UV55a



Obrázek D-6 Asus M-UV55a

Zdroj: <http://www.abclinuxu.cz/hardware/vstupni-zarizeni/mysi/logitech/logitech-m-uv55a>

Příloha 62 Struktura transakce o popis zařízení – „Get Device Descriptor“

Beagle

Len	Dev	Ep	Record	Summary
			<Reset> / <Target disco...	
			<Unreset> / <Target con...	
18 B	00	00	Get Device Descriptor	Index=0 Length=64
8 B	00	00	SETUP txn	80 06 00 01 00 00
3 B	00	00	SETUP packet	20 00 10
11 B	00	00	DATA0 packet	C3 00 06 00 01 00
1 B	00	00	ACK packet	D2
8 B	00	00	IN txn	12 01 00 02 00 00
3 B	00	00	IN packet	69 00 10
11 B	00	00	DATA1 packet	4B 12 01 00 02 00
1 B	00	00	ACK packet	D2
8 B	00	00	IN txn	6D 04 16 C0 40 03
2 B	00	00	IN txn	00 01
0 B	00	00	OUT txn	
3 B	00	00	OUT packet	E1 00 10
3 B	00	00	DATA1 packet	4B 00 00
1 B	00	00	ACK packet	D2
			<Reset> / <Target disco...	
			<Unreset> / <Target con...	
0 B	00	00	Set Address	Address=02

Wireshark

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
27	8.021484	host	0.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
28	8.022383	0.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
29	8.022535	host	1.0	USB	URB_CONTROL
30	8.051449	1.0	host	USB	URB_CONTROL
31	8.081393	1.1	host	USB	URB_INTERRUPT

Frame 28 (42 bytes on wire, 42 bytes captured)

USB URB

URB id: 0xffff880029719600
URB type: URB_COMPLETE ('C')
URB transfer type: URB_CONTROL (2)
Endpoint: 0x80
Device: 0
URB bus id: 5
Device setup request: not present ('-')
Data: present (0)
URB status: Success (0)
URB length [bytes]: 18
Data length [bytes]: 18
[Request in: 27]
[Time from request: 0.000999000 seconds]
[bInterfaceClass: Unknown (0xffff)]

DEVICE DESCRIPTOR

bLength: 18
bDescriptorType: DEVICE (1)
bcdUSB: 0x0200
bDeviceClass: 0
bDeviceSubClass: 0
bDeviceProtocol: 0
bMaxPacketSize0: 8
idVendor: 0x046d
idProduct: 0xc016
bcdDevice: 0x0340
iManufacturer: 1
iProduct: 2
iSerialNumber: 0
bNumConfigurations: 1

USBlyzer

Get Descriptor
This request returns the specified descriptor if the descriptor exists.

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bRequestType	1	80h	
1	4.0 Recipient	1	000000	Device
2	6.5 Type	1	000000	Standard
3	7 Direction	1	000000	Device-to-Host
4	bRequest	1	00h	Get Descriptor
5	wValue.LowByte	1	00h	
6	wValue.HighByte	1	01h	Device Descriptor
7	wIndex	2	0000h	
8	wLength	2	0012h	Descriptor Length

Device Descriptor

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	12h	
1	bDescriptorType	1	01h	Device
2	bcdUSB	2	0200h	USB Spec 2.0
3	bDeviceClass	1	00h	Class info in ifc Descriptors
4	bDeviceSubClass	1	00h	
5	bDeviceProtocol	1	00h	
6	bMaxPacketSize0	1	08h	8 bytes
7	idVendor	2	046dh	Logitech, Inc.
8	idProduct	2	C016h	
9	bcdDevice	2	0340h	3.40
10	iManufacturer	1	01h	
11	iProduct	1	02h	
12	iSerialNumber	1	00h	
13	bNumConfigurations	1	01h	

Obrázek D-7 Struktura transakce o popis zařízení – „Get Device Descriptor“

Příloha 63 Struktura transakce přidělení adresy zařízení – „Set Address“

Beagle					Wireshark					
Len	Dev	Ep	Record	Summary	No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
			<Reset> / <Target disco...		35	8.172046	host	1.0	USB	URB_CONTROL
			<Unreset> / <Target con...		36	8.172055	1.0	host	USB	URB_CONTROL
18 B	00	00	Get Device Descriptor	Index=0 Length=64	37	8.172062	host	0.0	USB	SET ADDRESS Request
			<Reset> / <Target disco...		38	8.172510	0.0	host	USB	SET ADDRESS Response
			<Unreset> / <Target con...		39	8.202060	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
0 B	00	00	Set Address	Address=02	40	8.203100	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
8 B	00	00	SETUP txn	00 05 02 00 00 00	▶ Frame 37 (24 bytes on wire, 24 bytes captured)					
3 B	00	00	SETUP packet	2D 00 10	▼ USB URB					
11 B	00	00	DATA0 packet	C3 00 05 02 00 00	URB id: 0xffff800029719600					
1 B	00	00	ACK packet	D2	URB type: URB_SUBMIT ('S')					
0 B	00	00	IN txn		URB transfer type: URB_CONTROL (2)					
3 B	00	00	IN packet	69 00 10	Endpoint: 0x00					
3 B	00	00	DATA1 packet	4B 00 00	Device: 0					
1 B	00	00	ACK packet	D2	URB bus id: 5					
18 B	02	00	Get Device Descriptor	Index=0 Length=18	Device setup request: present (0)					
					Data: present (0)					
					URB status: Operation now in progress (-EINPROGRESS) (-115)					
					URB length [bytes]: 0					
					Data length [bytes]: 0					
					[Response in: 38]					
					[bInterfaceClass: Unknown (0xffff)]					
					▼ URB setup					
					▼ bmRequestType: 0x00					
					0... = Direction: Host-to-device					
					..00. = Type: Standard (0x00)					
					...0 0000 = Recipient: Device (0x00)					
					bRequest: SET ADDRESS (5)					
					Device: 4					
					wIndex: 0					
					wLength: 0					
					odpověď					
					No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
					35	8.172046	host	1.0	USB	URB_CONTROL
					36	8.172055	1.0	host	USB	URB_CONTROL
					37	8.172062	host	0.0	USB	SET ADDRESS Request
					38	8.172510	0.0	host	USB	SET ADDRESS Response
					39	8.202060	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
					40	8.203100	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
					▶ Frame 38 (24 bytes on wire, 24 bytes captured)					
					▼ USB URB					
					URB id: 0xffff800029719600					
					URB type: URB_COMPLETE ('C')					
					URB transfer type: URB_CONTROL (2)					
					Endpoint: 0x00					
					Device: 0					
					URB bus id: 5					
					Device setup request: not present ('-')					
					Data: not present ('>')					
					URB status: Success (0)					
					URB length [bytes]: 0					
					Data length [bytes]: 0					
					[Request in: 37]					
					[Time from request: 0.000448000 seconds]					
					[bInterfaceClass: Unknown (0xffff)]					

Obrázek D-8 Struktura transakce přidělení adresy zařízení – „Set Address“

Příloha 64 Struktura transakce o popis zařízení po přidělení adresy – „Get Device Descriptor“

Beagle					Wireshark					
Len	Dev	Ep	Record	Summary	No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
0 B	00	00	▶ Set Address	Address=02	35	8.172046	host	1.0	USB	URB_CONTROL
18 B	02	00	▼ Get Device Descriptor	Index=0 Length=18	36	8.172055	1.0	host	USB	URB_CONTROL
8 B	02	00	▼ SETUP txn	80 06 00 01 00 00	37	8.172062	host	0.0	USB	SET ADDRESS Request
3 B	02	00	○ SETUP packet	2D 02 A8	38	8.172510	0.0	host	USB	SET ADDRESS Response
11 B	02	00	DATA0 packet	C3 00 06 00 01 00	39	8.202060	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
1 B	02	00	✓ ACK packet	D2	40	8.203498	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
8 B	02	00	▼ IN txn	12 01 00 02 00 00	▶ Frame 39 (24 bytes on wire, 24 bytes captured)					
3 B	02	00	○ IN packet	69 02 A8	▼ USB URB					
11 B	02	00	DATA1 packet	4B 12 01 00 02 00	URB id: 0xfffff80029719600					
1 B	02	00	✓ ACK packet	D2	URB type: URB_SUBMIT ('S')					
8 B	02	00	▶ IN txn	60 04 16 C0 40 03	URB transfer type: URB_CONTROL (2)					
2 B	02	00	▶ IN txn [1 POLL]	00 01	Endpoint: 0x00					
0 B	02	00	▼ OUT txn		Device: 4					
3 B	02	00	○ OUT packet	E1 02 A8	URB bus id: 5					
3 B	02	00	DATA1 packet	4B 00 00	Device setup request: present (0)					
1 B	02	00	✓ ACK packet	D2	Data: not present ('<')					
9 B	02	00	▶ Get Configuration Descriptor	Index=0 Length=9	URB status: Operation now in progress (-EINPROGRESS) (-115)					
					URB length [bytes]: 18					
					Data length [bytes]: 0					
					[Response in: 40]					
					[bInterfaceClass: HID (0x03)]					
					▼ URB setup					
					▼ bmRequestType: 0x80					
					1... = Direction: Device-to-host					
					.00. = Type: Standard (0x00)					
					...0 0000 = Recipient: Device (0x00)					
					bRequest: GET_DESCRIPTOR (6)					
					Descriptor Index: 0x00					
					bDescriptorType: DEVICE (1)					
					Language Id: no language specified (0x0000)					
					wLength: 18					
					odpověď					
					No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
					36	8.172055	1.0	host	USB	URB_CONTROL
					37	8.172062	host	0.0	USB	SET ADDRESS Request
					38	8.172510	0.0	host	USB	SET ADDRESS Response
					39	8.202060	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
					40	8.203498	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
					41	8.203547	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGUR
					▶ Frame 40 (42 bytes on wire, 42 bytes captured)					
					▼ USB URB					
					URB id: 0xfffff80029719600					
					URB type: URB_COMPLETE ('C')					
					URB transfer type: URB_CONTROL (2)					
					Endpoint: 0x00					
					Device: 4					
					URB bus id: 5					
					Device setup request: not present ('-')					
					Data: present (0)					
					URB status: Success (0)					
					URB length [bytes]: 18					
					Data length [bytes]: 18					
					[Request in: 39]					
					[Time from request: 0.001430000 seconds]					
					[bInterfaceClass: HID (0x03)]					
					▼ DEVICE DESCRIPTOR					
					bLength: 18					
					bDescriptorType: DEVICE (1)					
					bcdUSB: 0x0200					
					bDeviceClass: 0					
					bDeviceSubClass: 0					
					bDeviceProtocol: 0					
					bMaxPacketSize0: 8					
					idVendor: 0x046d					
					idProduct: 0xc016					
					bcdDevice: 0x0340					
					iManufacturer: 1					
					iProduct: 2					
					iSerialNumber: 0					
					bNumConfigurations: 1					

Obrázek D-9 Struktura transakce o popis zařízení po přidělení adresy – „Get Device Descriptor“

Příloha 65 Struktura transakce o popis konfigurace zařízení – „Get Device Descriptor“

Beagle

Len	Dev	Ep	Record	Summary
18 B	02	00	▶ Get Device Descriptor	Index=0 Length=18
9 B	02	00	▼ Get Configuration Descriptor	Index=0 Length=9
8 B	02	00	▶ SETUP txn	80 06 00 02 00 00 09 00
3 B	02	00	▶ SETUP packet	20 02 A8
11 B	02	00	▶ DATA0 packet	C3 80 06 00 02 00 00 09 00 AE 04
1 B	02	00	▶ ACK packet	D2
8 B	02	00	▶ IN txn	09 02 22 00 01 01 00 A0
3 B	02	00	▶ IN packet	69 02 A8
11 B	02	00	▶ DATA1 packet	48 09 02 22 00 01 01 00 A0 0A 98
1 B	02	00	▶ ACK packet	D2
1 B	02	00	▶ IN txn	32
0 B	02	00	▶ OUT txn	
3 B	02	00	▶ OUT packet	E1 02 A8
3 B	02	00	▶ DATA1 packet	48 00 00
1 B	02	00	▶ ACK packet	D2
34 B	02	00	▼ Get Configuration Descriptor	Index=0 Length=34
8 B	02	00	▶ SETUP txn	80 06 00 02 00 00 22 00
8 B	02	00	▶ IN txn	09 02 22 00 01 01 00 A0
8 B	02	00	▶ IN txn	32 09 04 00 00 01 03 01
8 B	02	00	▶ IN txn	02 00 09 21 10 01 00 01
8 B	02	00	▶ IN txn	22 34 00 07 05 81 03 04
2 B	02	00	▶ IN txn	00 0A
0 B	02	00	▶ OUT txn	
4 B	02	00	▶ Get String Descriptor	Index=0 Length=255

USBlyzer

Get Descriptor
This request returns the specified descriptor if the descriptor exists.

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bRequestType	1	80h	
	4.0 Recipient	1	0000h	Device
	6.5 Type	1	0000h	Standard
	7: Direction	1	0000h	Device-to-Host
1	bRequest	1	06h	Get Descriptor
2	wValue.LowByte	1	00h	Descriptor Index
3	wValue.HighByte	1	02h	Configuration Descriptor
4	wIndex	2	0000h	
6	wLength	2	0022h	Descriptor Length

Configuration Descriptor 1 Bus Powered, 100 mA

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	09h	
1	bDescriptorType	1	02h	Configuration
2	wTotalLength	2	0022h	
4	bNumInterfaces	1	01h	
5	bConfigurationValue	1	01h	
6	iConfiguration	1	00h	
7	bmAttributes	1	A0h	Bus Powered, Remote Wakeup
	4.0: Reserved	1	0000h	
	5: Remote Wakeup	1	1	Yes
	6: Self Powered	1	0	No, Bus Powered
	7: Reserved (set to one) (bus-powered for 1.0)	1	1	
8	bMaxPower	1	32h	100 mA

Interface Descriptor 0/0 HD, 1 Endpoint

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	09h	
1	bDescriptorType	1	04h	Interface
2	bInterfaceNumber	1	00h	
3	baAlternateSetting	1	00h	
4	bNumEndpoints	1	01h	
5	bInterfaceClass	1	03h	HD
6	bInterfaceSubClass	1	01h	Boot Interface
7	bInterfaceProtocol	1	02h	Mouse
8	iInterface	1	00h	

HID Descriptor

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	09h	
1	bDescriptorType	1	21h	HID
2	bcdHID	2	0110h	1.10
4	bCountryCode	1	00h	
5	bNumDescriptors	1	01h	
6	bDescriptorType	1	22h	Report
7	wDescriptorLength	2	0034h	52 bytes

Endpoint Descriptor 01 In, Interrupt

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	07h	
1	bDescriptorType	1	05h	Endpoint
2	bEndpointAddress	1	81h	1 In
3	bmAttributes	1	03h	Interrupt
	1.0: Transfer Type	1	0000h	Interrupt
	7.2: Reserved	1	0000h	
4	wMaxPacketSize	2	0004h	4 bytes
6	bInterval	1	00h	

Wireshark

žádost

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
36	8.172055	1.0	host	USB	URB_CONTROL
37	8.172062	host	0.0	USB	SET ADDRESS Request
38	8.172510	0.0	host	USB	SET ADDRESS Response
39	8.202060	host	4.0	USB	GET DESCRIPTOR Request DEVICE
40	8.203490	4.0	host	USB	GET DESCRIPTOR Response DEVICE
41	8.203521	host	4.0	USB	GET DESCRIPTOR Request CONFIGURATION

▶ Frame 41 (24 bytes on wire, 24 bytes captured)

▼ USB URB

URB id: 0xffff880029719600

URB type: URB_SUBMIT ('S')

URB transfer type: URB_CONTROL (2)

Endpoint: 0x00

Device: 4

URB bus id: 5

Device setup request: present (0)

Data: not present ('')

URB status: Operation now in progress (-EINPROGRESS) (-115)

URB length [bytes]: 9

Data length [bytes]: 0

[Response in: 42]

[bInterfaceClass: HID (0x03)]

▼ URB setup

▼ bmRequestType: 0x80

1... .. = Direction: Device-to-host

..0. = Type: Standard (0x00)

...0 0000 = Recipient: Device (0x00)

bRequest: GET_DESCRIPTOR (6)

Descriptor Index: 0x00

bDescriptorType: CONFIGURATION (2)

Language Id: no language specified (0x0000)

wLength: 9

odpověď

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
39	8.202060	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request DEVICE
40	8.203490	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response DEVICE
41	8.203521	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION
42	8.205521	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response CONFIGURATION
43	8.205567	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request CONFIGURATION

▶ Frame 42 (33 bytes on wire, 33 bytes captured)

▼ USB URB

URB id: 0xffff880029719600

URB type: URB_COMPLETE ('C')

URB transfer type: URB_CONTROL (2)

Endpoint: 0x00

Device: 4

URB bus id: 5

Device setup request: not present ('')

Data: present (0)

URB status: Success (0)

URB length [bytes]: 9

Data length [bytes]: 9

[Request in: 41]

[Time from request: 0.001974000 seconds]

[bInterfaceClass: HID (0x03)]

▼ CONFIGURATION DESCRIPTOR

bLength: 9

bDescriptorType: CONFIGURATION (2)

wTotalLength: 34

bNumInterfaces: 1

bConfigurationValue: 1

iConfiguration: 0

▼ Configuration bmAttributes: 0xa0 NOT_SELF-POWERED REMOTE-WAKEUP

1... .. = Must be 1: Must be 1 for USB 1.1 and higher

..0. = Self-Powered: This device is powered from the USB bus

..1. = Remote Wakeup: This device supports REMOTE WAKEUP

bMaxPower: 50 (100mA)

Obrázek D-10 Struktura transakce o popis konfigurace zařízení – „Get Device Descriptor“

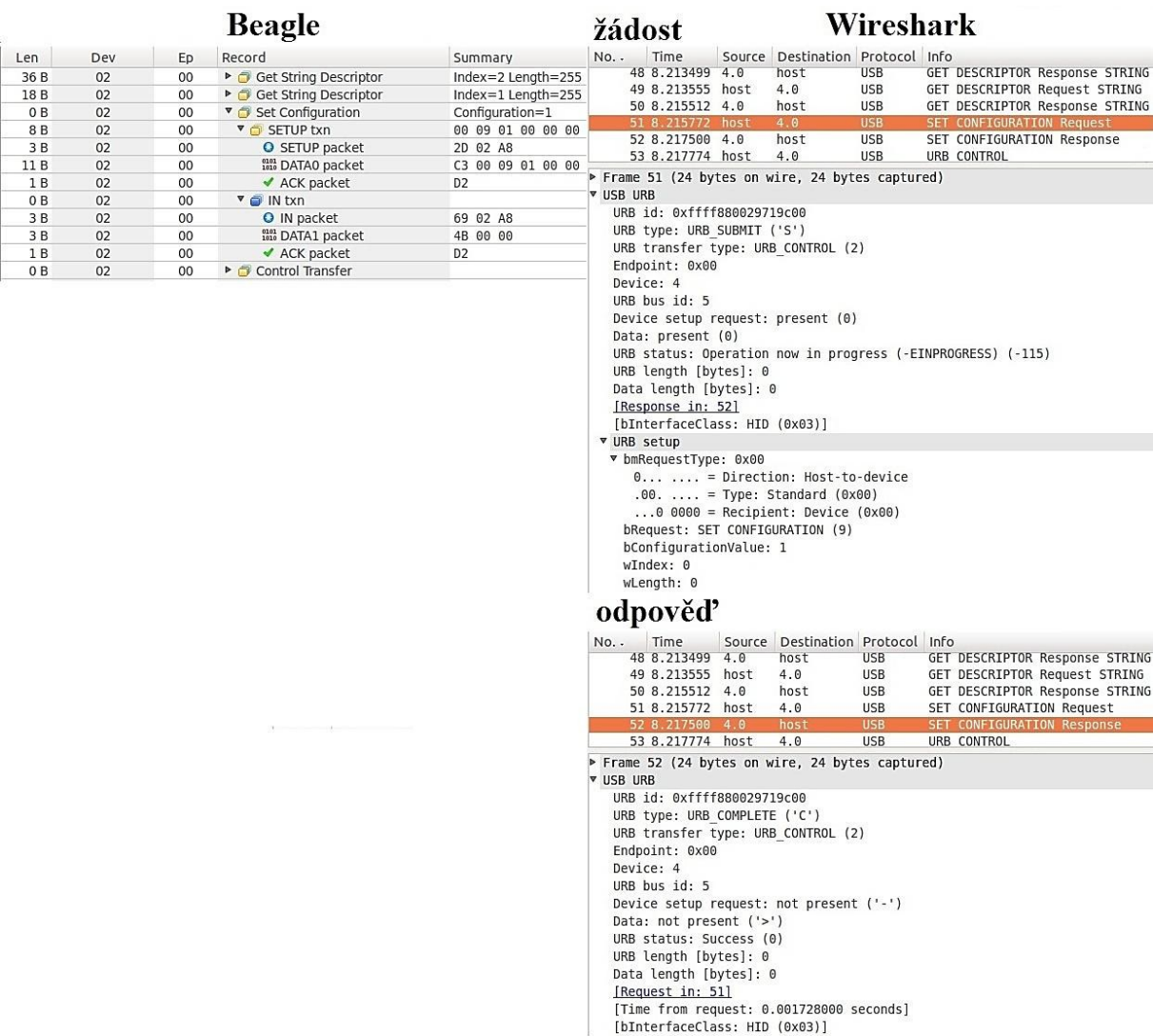
Příloha 66 Struktura transakce slovního popisu zařízení – „Get String Descriptor“

Beagle					odpověď		Wireshark			
Len	Dev	Ep	Record	Summary	No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
34 B	02	00	▶ Get Configuration Descriptor	Index=0 Length=34	45	8.208565	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
4 B	02	00	▶ Get String Descriptor	Index=0 Length=255	46	8.210511	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
36 B	02	00	▼ Get String Descriptor	Index=2 Length=255	47	8.210558	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
8 B	02	00	▶ SETUP txn	80 06 02 03 09 04 FF	48	8.213499	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
8 B	02	00	▼ IN txn	24 03 4F 00 70 00 74	49	8.213555	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
3 B	02	00	IN packet	69 02 A8	▶ Frame 48 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)					
11 B	02	00	DATA1 packet	4B 24 03 4F 00 70 00	▼ USB URB					URB id: 0xffff880029719600
1 B	02	00	ACK packet	D2						URB type: URB_COMPLETE ('C')
8 B	02	00	▼ IN txn	69 00 63 00 61 00 6C						URB transfer type: URB_CONTROL (2)
3 B	02	00	IN packet	69 02 A8						Endpoint: 0x80
11 B	02	00	DATA0 packet	C3 69 00 63 00 61 00						Device: 4
1 B	02	00	ACK packet	D2						URB bus id: 5
8 B	02	00	▼ IN txn [1 POLL]	20 00 55 00 53 00 42						Device setup request: not present ('-')
37.6 us	02	00	[1 IN-NAK]							Data: present (0)
3 B	02	00	IN packet	69 02 A8						URB status: Success (0)
11 B	02	00	DATA1 packet	4B 20 00 55 00 53 00						URB length [bytes]: 36
1 B	02	00	ACK packet	D2						Data length [bytes]: 36
8 B	02	00	▼ IN txn	20 00 4D 00 6F 00 75						[Request in: 47]
4 B	02	00	IN txn	73 00 65 00						[Time from request: 0.002941000 seconds]
0 B	02	00	OUT txn							[bInterfaceClass: HID (0x03)]
18 B	02	00	▶ Get String Descriptor	Index=1 Length=255	▼ STRING DESCRIPTOR					bLength: 36
										bDescriptorType: STRING (3)
										bString: Optical USB Mouse

Beagle					odpověď		Wireshark			
Len	Dev	Ep	Record	Summary	No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
47 B	02	00	▶ Get Configuration Descriptor	Index=0 Length=47	47	8.210558	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
4 B	02	00	▶ Get String Descriptor	Index=0 Length=255	48	8.213499	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
49 B	02	00	▼ Get String Descriptor	Index=2 Length=255	49	8.213555	host	4.0	USB	GET_DESCRIPTOR Request STRING
8 B	02	00	▶ SETUP txn	80 06 02 03 09 04 FF	50	8.215512	4.0	host	USB	GET_DESCRIPTOR Response STRING
8 B	02	00	▼ IN txn	24 03 4F 00 70 00 74	51	8.215772	host	4.0	USB	SET_CONFIGURATION Request
3 B	02	00	IN packet	69 02 A8	52	8.217500	4.0	host	USB	SET_CONFIGURATION Response
11 B	02	00	DATA1 packet	4B 24 03 4F 00 70 00	▶ Frame 50 (42 bytes on wire, 42 bytes captured)					
1 B	02	00	ACK packet	D2	▼ USB URB					URB id: 0xffff880029719600
8 B	02	00	▼ IN txn	69 00 63 00 61 00 6C						URB type: URB_COMPLETE ('C')
3 B	02	00	IN packet	69 02 A8						URB transfer type: URB_CONTROL (2)
11 B	02	00	DATA0 packet	C3 69 00 63 00 61 00						Endpoint: 0x80
1 B	02	00	ACK packet	D2						Device: 4
8 B	02	00	▼ IN txn [1 POLL]	20 00 55 00 53 00 42						URB bus id: 5
37.6 us	02	00	[1 IN-NAK]							Device setup request: not present ('-')
3 B	02	00	IN packet	69 02 A8						Data: present (0)
11 B	02	00	DATA1 packet	4B 20 00 55 00 53 00						URB status: Success (0)
1 B	02	00	ACK packet	D2						URB length [bytes]: 18
8 B	02	00	▼ IN txn	20 00 4D 00 6F 00 75						Data length [bytes]: 18
4 B	02	00	IN txn	73 00 65 00						[Request in: 49]
0 B	02	00	OUT txn							[Time from request: 0.001957000 seconds]
18 B	02	00	▶ Get String Descriptor	Index=1 Length=255	▼ STRING DESCRIPTOR					[bInterfaceClass: HID (0x03)]
										bLength: 18
										bDescriptorType: STRING (3)
										bString: Logitech

Obrázek D-11 Struktura transakce slovního popisu zařízení – „Get String Descriptor“

Příloha 67 Struktura transakce nastavení konfigurace – „Set Configuration“



Obrázek D-12 Struktura transakce nastavení konfigurace – „Set Configuration“

odpověď

No..	Time	Source	Destination	Protocol	Info
51	12.487183	host	4.0	USB	SET CONFIGURATION Request
52	12.488868	4.0	host	USB	SET CONFIGURATION Response
53	12.489190	host	4.0	USB	URB CONTROL
54	12.490854	4.0	host	USB	URB CONTROL

Frame 54 (24 bytes on wire, 24 bytes captured)

USB URB

URB id: 0xffff8007c826000

URB type: URB_COMPLETE ('C')

URB transfer type: URB_CONTROL (2)

Endpoint: 0x00

Device: 4

URB bus id: 5

Device setup request: not present ('-')

Data: not present ('>')

URB status: Success (0)

URB length [bytes]: 0

Data length [bytes]: 0

Request in: 53

[Time from request: 0.001664000 seconds]

[InterfaceClass: HID (0x03)]

Obrázek D-13 Struktura transakce řídicího přenosu – „Control Transfer“

Příloha 69 Struktura vstupní datové transakce

Beagle

Len	Dev	Ep	Record	Summary
4 B	02	01	IN txn	00 00 FF 00
4 B	02	01	IN txn	00 01 FF 00
4 B	02	01	IN txn	00 00 FD 00
4 B	02	01	IN txn	00 00 FC 00
3 B	02	01	IN packet	69 82 18
7 B	02	01	DATA1 packet	4B 00 00 FC
1 B	02	01	ACK packet	D2
4 B	02	01	IN txn	00 FE FC 00
3 B	02	01	IN packet	69 82 18
7 B	02	01	DATA0 packet	C3 00 FE FC
1 B	02	01	ACK packet	D2
4 B	02	01	IN txn	00 FE FD 00
3 B	02	01	IN packet	69 82 18
7 B	02	01	DATA1 packet	4B 00 FE FD
1 B	02	01	ACK packet	D2
4 B	02	01	IN txn	00 FD FD 00

USBlyzer

Input Report

Usage	Range	Lg/Ph	Value
X	[-127..127]		2
Y	[-127..127]		-3
Wheel	[-127..127]		0

Input Report

Usage	Range	Lg/Ph	Value
X	[-127..127]		3
Y	[-127..127]		-4
Wheel	[-127..127]		0

Input Report

Usage	Range	Lg/Ph	Value
X	[-127..127]		2
Y	[-127..127]		-3
Wheel	[-127..127]		0

žádost

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
61	22.178463	host	4.1	USB	URB_INTERRUPT
62	22.274404	4.1	host	USB	URB_INTERRUPT
63	22.274464	host	4.1	USB	URB_INTERRUPT
64	22.282404	4.1	host	USB	URB_INTERRUPT

▶ Frame 63 (24 bytes on wire, 24 bytes captured)

▼ USB URB

URB id: 0xffff88007c82a000

URB type: URB_SUBMIT ('S')

URB transfer type: URB_INTERRUPT (1)

Endpoint: 0x81

Device: 4

URB bus id: 5

Device setup request: not present ('-')

Data: not present ('<')

URB status: Operation now in progress (-EINPROGRESS) (-115)

URB length [bytes]: 4

Data length [bytes]: 0

[Response in: 64]

odpověď

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
62	22.274404	4.1	host	USB	URB_INTERRUPT
63	22.274464	host	4.1	USB	URB_INTERRUPT
64	22.282404	4.1	host	USB	URB_INTERRUPT
65	22.282460	host	4.1	USB	URB_INTERRUPT

▶ Frame 64 (28 bytes on wire, 28 bytes captured)

▼ USB URB

URB id: 0xffff88007c82a000

URB type: URB_COMPLETE ('C')

URB transfer type: URB_INTERRUPT (1)

Endpoint: 0x81

Device: 4

URB bus id: 5

Device setup request: not present ('-')

Data: present (0)

URB status: Success (0)

URB length [bytes]: 4

Data length [bytes]: 4

[Request in: 63]

[Time from request: 0.007940000 seconds]

Application Data: 0000FF00

Obrázek D-14 Struktura vstupní datové transakce

Příloha 70 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost čtení v měření č.:					Průměrná rychlost čtení [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	5231	5165	5141	5984	2758	4855,8
1	9144	9030	9296	11196	5386	8810,4
2	3169	4078	3298	1499	12531	4915
4	26434	2945	11299	3217	3735	9526
8	38597	38582	38642	47015	4398	33446,8
16	55025	55269	55402	55636	54263	55119
32	55903	55975	55911	56032	55977	55959,6
64	55987	56043	55995	56071	56078	56034,8
128	56031	56054	56037	56105	56109	56067,2
256	56083	56124	56101	56167	56186	56132,2
512	56220	56245	56212	56290	56306	56254,6
1024	51598	30675	56466	56544	56561	50368,8
2048	56885	56907	56866	56910	56927	56899
4096	57696	57726	55795	55883	56055	56631
8192	59644	59634	59589	59637	59665	59633,8

Tabulka D-1 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0

Příloha 71 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost zápisu v měření č.:					Průměrná rychlost zápisu [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	4688	4132	4080	5875	1762	4107,4
1	8762	8712	8750	11431	4938	8518,6
2	7068	5966	7369	1710	9537	6330
4	2810	2394	2759	1884	4929	2955,2
8	11992	11953	11823	6325	3543	9127,2
16	11238	11111	10636	6958	10332	10055
32	12025	11984	11707	11691	7918	11065
64	11334	11267	10209	10166	11818	10958,8
128	11931	12023	11701	11686	10630	11594,2
256	11037	11311	10218	10213	11781	10912
512	11882	12019	11697	11664	10818	11616
1024	4066	11330	10445	10372	11770	9596,6
2048	6893	11913	11658	11780	8265	10101,8
4096	9434	8284	4022	7311	7284	7267
8192	8295	11783	7167	7223	7198	8333,2

Tabulka D-2 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 3.0

Příloha 72 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost čtení v měření č.:					Průměrná rychlost čtení [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	997	1000	999	996	997	997,8
1	1997	1997	1995	1995	1936	1984
2	3394	3492	3320	3471	3320	3399,4
4	6451	6535	6404	6563	6399	6470,4
8	11109	11017	10901	11067	8056	10430
16	14714	14252	14245	15308	14596	14623
32	23195	22255	21336	21318	21348	21890,4
64	27338	28548	28532	28455	28414	28257,4
128	29428	15785	28265	15283	28257	23403,6
256	30089	30118	29919	30155	29922	30040,6
512	30364	30204	30239	30455	30167	30285,8
1024	29624	29580	29624	29635	29570	29606,6
2048	29930	29971	30143	30003	30018	30013
4096	30318	30221	30374	30176	30338	30285,4
8192	30209	30452	30951	30343	30235	30438

Tabulka D-3 Naměřené rychlosti čtení u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0

Příloha 73 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost zápisu v měření č.:					Průměrná rychlost zápisu [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	713	970	861	761	943	849,6
1	1988	1991	1990	1965	1634	1913,6
2	3262	3272	3272	3271	3112	3237,8
4	6387	6381	6382	6369	6379	6379,6
8	10135	10524	9191	10488	8985	9864,6
16	11341	8138	9012	8006	8251	8949,6
32	9435	11739	11721	11630	11559	11216,8
64	4008	10424	10284	10038	9952	8941,2
128	6519	4411	4031	3839	4023	4564,6
256	7503	6731	6604	6470	6612	6784
512	11674	11913	7845	7408	7892	9346,4
1024	10388	11189	11707	11545	11715	11308,8
2048	11666	11832	10458	10203	10489	10929,6
4096	8224	8324	11652	11460	11679	10267,8
8192	11732	11808	8198	8091	8220	9609,8

Tabulka D-4 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku ADATA S102 8GB na portu USB 2.0

Příloha 74 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 3.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost čtení v měření č.:					Průměrná rychlost čtení [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	1016	1104	1135	1117	937	1061,8
1	2097	1756	1946	2064	1912	1955
2	3248	3361	3564	3657	3308	3427,6
4	5222	5136	5221	5417	5211	5241,4
8	7504	7385	7542	7415	7520	7473,2
16	9635	9567	9690	9540	9647	9615,8
32	11224	10071	11224	11133	11202	10970,8
64	12153	12136	12175	12100	12164	12145,6
128	12314	12304	12339	12328	12335	12324
256	12402	12404	12414	12364	12441	12405
512	12470	12458	12479	12465	12458	12466
1024	12512	12477	12510	12439	12500	12487,6
2048	12516	12491	12488	12468	12487	12490
4096	12509	12474	12499	12488	12516	12497,2
8192	12516	12492	12518	12469	12490	12497

Tabulka D-5 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 3.0

**Příloha 75 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu
USB 3.0**

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost zápisu v měření č.:					Průměrná rychlost zápisu [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	74	100	69	107	68	83,6
1	171	152	162	122	150	151,4
2	228	305	244	303	259	267,8
4	489	479	424	402	415	441,8
8	415	457	459	527	492	470
16	2841	2459	2989	2010	2855	2630,8
32	2287	2472	2285	2665	2177	2377,2
64	2004	2104	2420	2056	3000	2316,8
128	3003	2856	2656	2199	2456	2634
256	2360	2340	2457	2545	2422	2424,8
512	2377	2946	2092	2246	2944	2521
1024	2272	2305	2279	2664	2473	2398,6
2048	2196	2720	2147	2444	2317	2364,8
4096	2583	2451	2394	2436	2418	2456,4
8192	2573	2383	2782	2295	2625	2531,6

**Tabulka D-6 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu
USB 3.0**

Příloha 76 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost čtení v měření č.:					Průměrná rychlost čtení [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	631	613	756	790	704	698,8
1	1346	1496	1161	1404	1383	1358
2	2614	2616	2200	2601	2402	2486,6
4	4073	3684	3929	3828	4311	3965
8	5960	6374	5862	6110	5939	6049
16	8151	8119	8043	8124	8135	8114,4
32	10150	9970	10202	9987	10132	10088,2
64	11493	11424	11481	11384	11437	11443,8
128	11638	11567	11667	11576	11617	11613
256	11726	11709	11725	11667	11709	11707,2
512	11770	11727	11804	11692	11767	11752
1024	11705	11640	11732	11677	11720	11694,8
2048	11820	11700	11752	11708	11776	11751,2
4096	11804	11754	11795	11739	11800	11778,4
8192	11835	11746	11815	11762	11800	11791,6

Tabulka D-7 Naměřené rychlosti čtení u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0

**Příloha 77 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu
USB 2.0**

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost zápisu v měření č.:					Průměrná rychlost zápisu [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	77	68	69	67	49	66
1	153	150	149	140	130	144,4
2	252	219	285	252	227	247
4	509	454	408	490	506	473,4
8	437	478	439	410	491	451
16	2554	2374	2182	2371	2419	2380
32	2201	2157	2803	1928	2285	2274,8
64	2498	2249	2411	2371	2493	2404,4
128	2417	2574	2492	2353	2400	2447,2
256	2356	2707	2921	1847	2340	2434,2
512	2464	2449	2235	2748	2511	2481,4
1024	2119	2623	2201	2371	2343	2331,4
2048	2016	2552	2668	2870	2081	2437,4
4096	2647	2600	2372	2684	2423	2545,2
8192	2178	2150	2425	2340	2557	2330

**Tabulka D-8 Naměřené rychlosti zápisu u flash disku Kingston DataTravel 1GB na portu
USB 2.0**

Příloha 78 Porovnání průměrných přenosových rychlostí flash disků ADATA S102 8GB na portu USB 3.0 a Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0

Velikost bloku dat [kB]	ADATA S102 8GB		Kingston DataTravel 1GB		Zlepšení	
	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [%]	Zápis [%]
0,5	4855,8	4107,4	698,8	66	595	6123
1	8810,4	8518,6	1358	144,4	549	5799
2	4915	6330	2486,6	247	98	2463
4	9526	2955,2	3965	473,4	140	524
8	33446,8	9127,2	6049	451	453	1924
16	55119	10055	8114,4	2380	579	322
32	55959,6	11065	10088,2	2274,8	455	386
64	56034,8	10958,8	11443,8	2404,4	390	356
128	56067,2	11594,2	11613	2447,2	383	374
256	56132,2	10912	11707,2	2434,2	379	348
512	56254,6	11616	11752	2481,4	379	368
1024	50368,8	9596,6	11694,8	2331,4	331	312
2048	56899	10101,8	11751,2	2437,4	384	314
4096	56631	7267	11778,4	2545,2	381	186
8192	59633,8	8333,2	11791,6	2330	406	258
Celkově:					393	1337

Tabulka D-9 Porovnání průměrných přenosových rychlostí flash disků ADATA S102 8GB na portu USB 3.0 a Kingston DataTravel 1GB na portu USB 2.0

Příloha 79 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost čtení v měření č.:					Průměrná rychlost čtení [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	1127	1191	1176	1116	1186	1159,2
1	1956	1989	2492	2377	1819	2126,6
2	4478	4393	3431	4247	4018	4113,4
4	6763	6355	6524	7325	6967	6786,8
8	11094	10554	11132	11441	11385	11121,2
16	17099	16520	16269	16058	16302	16449,6
32	22931	22488	23062	22335	21725	22508,2
64	28424	28470	28341	28144	28560	28387,8
128	29928	29719	29882	30134	30013	29935,2
256	30428	30190	30387	30139	30617	30352,2
512	31078	28870	31137	31643	30936	30732,8
1024	31589	29914	30556	30919	30415	30678,6
2048	31482	30430	30767	30787	30758	30844,8
4096	30598	30603	30840	31102	30903	30809,2
8192	30710	30480	31169	30941	30948	30849,6

Tabulka D-10 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0

Příloha 80 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost zápisu v měření č.:					Průměrná rychlost zápisu [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	1182	1332	1185	1246	1212	1231,4
1	2462	2609	2584	2455	2621	2546,2
2	4425	4711	5113	4758	4617	4724,8
4	8173	8750	7357	7766	8346	8078,4
8	11130	10258	11429	11650	10967	11086,8
16	15513	15905	15769	15725	15935	15769,4
32	21628	21021	19972	20507	20707	20767
64	26516	25953	25916	25511	26929	26165
128	27371	27707	27343	27958	26915	27458,8
256	27939	28410	27375	27419	27833	27795,2
512	28752	28549	28306	27965	28309	28376,2
1024	28657	27977	28666	28598	27265	28232,6
2048	26918	28541	28020	28145	28636	28052
4096	27859	28711	27746	27831	27472	27923,8
8192	28236	28577	28311	27553	28668	28269

Tabulka D-11 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0

Příloha 81 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost čtení v měření č.:					Průměrná rychlost čtení [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	820	779	815	794	795	800,6
1	1823	1577	1630	1528	1377	1587
2	2608	2635	2272	2705	3061	2656,2
4	5028	5119	5518	4110	6243	5203,6
8	7675	8543	9560	7274	7878	8186
16	12886	12692	13054	12107	13275	12802,8
32	19396	19720	19490	20250	19507	19672,6
64	27035	26815	27540	26781	26919	27018
128	27851	27717	27761	27806	27724	27771,8
256	27922	27765	27870	27860	28205	27924,4
512	28344	28411	28361	28296	28136	28309,6
1024	28081	28000	28049	28088	27936	28030,8
2048	28430	28051	28284	27134	28306	28041
4096	27012	28534	28294	26961	27326	27625,4
8192	28483	28233	28522	28190	28071	28299,8

Tabulka D-12 Naměřené rychlosti čtení u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0

Příloha 82 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0

Velikost bloku dat [kB]	Rychlost zápisu v měření č.:					Průměrná rychlost zápisu [kb/s]
	1. [kb/s]	2. [kb/s]	3. [kb/s]	4. [kb/s]	5. [kb/s]	
0,5	827	771	946	923	666	826,6
1	1958	1795	1953	1965	1966	1927,4
2	3241	3160	3253	2841	2764	3051,8
4	4720	4909	5575	4668	6188	5212
8	8659	8704	8856	7670	10297	8837,2
16	14692	13447	15129	13205	13054	13905,4
32	19039	18318	18770	18737	18486	18670
64	25738	24968	26012	25131	25690	25507,8
128	27019	26781	27284	27084	27361	27105,8
256	28307	27475	27712	27535	27736	27753
512	27201	27636	27853	27632	27836	27631,6
1024	27126	27459	27464	27026	27052	27225,4
2048	25291	28338	27279	27538	27633	27215,8
4096	27652	26321	25479	27399	25558	26481,8
8192	28306	25517	26588	27766	27547	27144,8

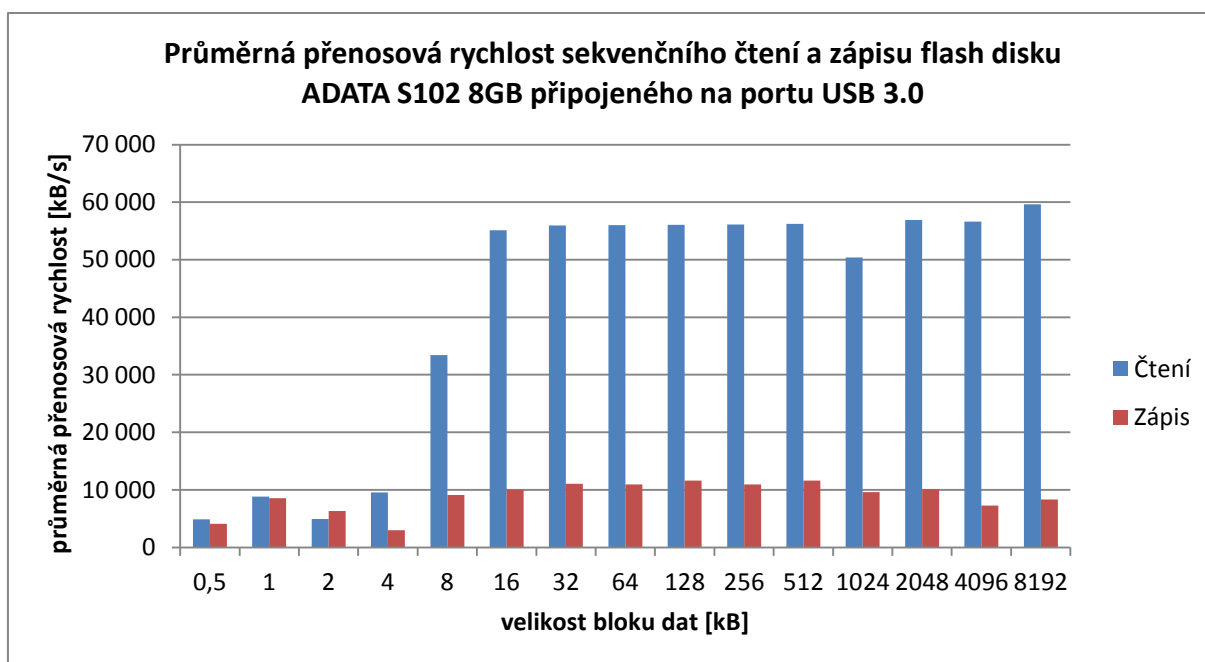
Tabulka D-13 Naměřené rychlosti zápisu u hard disku WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0

Příloha 83 Seznam různých naměřených hodnot nebo zlepšení při použití portu USB 3.0

Velikost bloku dat [kB]	ADATA S102 8GB USB 3.0 na portu USB 2.0		WD Scorpio 160Gb na portu USB 2.0		Kingston DataTravel 1GB na portu USB 3.0		Zlepšení WD Scorpio 160Gb na portu USB 3.0	
					Zlepšení		Zlepšení	
	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [kb/s]	Zápis [kb/s]	Čtení [%]	Zápis [%]	Čtení [%]	Zápis [%]
0,5	998	850	801	827	34,2	21,1	44,8	49,0
1	1984	1914	1587	1927	30,5	4,6	34,0	32,1
2	3399	3238	2656	3052	27,5	7,8	54,9	54,8
4	6470	6380	5204	5212	24,4	-7,2	30,4	55,0
8	10430	9865	8186	8837	19,1	4,0	35,9	25,5
16	14623	8950	12803	13905	15,6	9,5	28,5	13,4
32	21890	11217	19673	18670	8,0	4,3	14,4	11,2
64	28257	8941	27018	25508	5,8	-3,8	5,1	2,6
128	23404	4565	27772	27106	5,8	7,1	7,8	1,3
256	30041	6784	27924	27753	5,6	-0,4	8,7	0,2
512	30286	9346	28310	27632	5,7	1,6	8,6	2,7
1024	29607	11309	28031	27225	6,3	2,8	9,4	3,7
2048	30013	10930	28041	27216	5,9	-3,1	10,0	3,1
4096	30285	10268	27625	26482	5,8	-3,6	11,5	5,4
8192	30438	9610	28300	27145	5,6	8,0	9,0	4,1
Celkově:					13,7	3,5	20,9	17,6

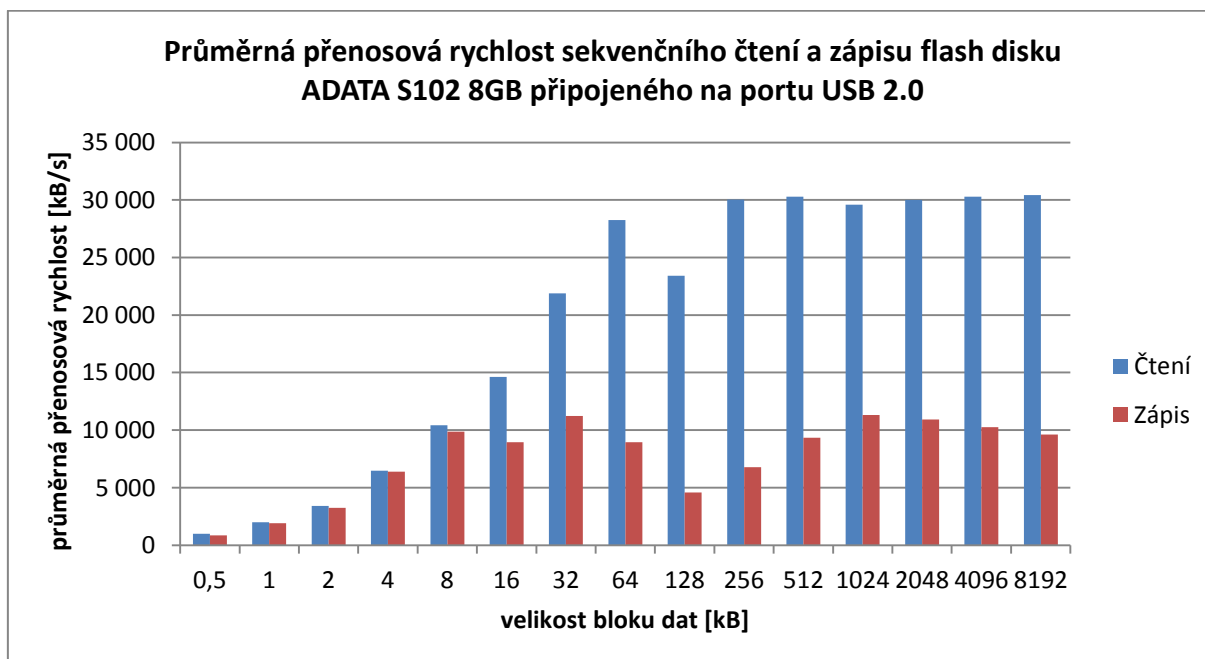
Tabulka D-14 Seznam různých naměřených hodnot nebo zlepšení při použití portu USB 3.0

Příloha 84 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0



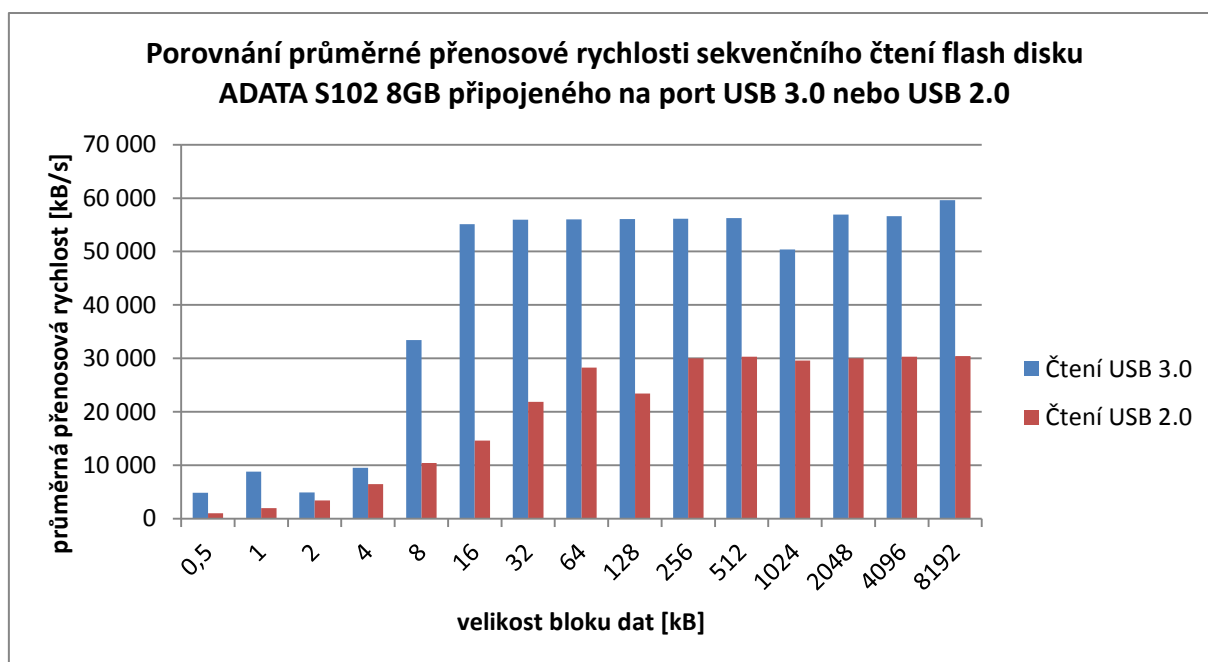
Graf D-1 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0

Příloha 85 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 2.0



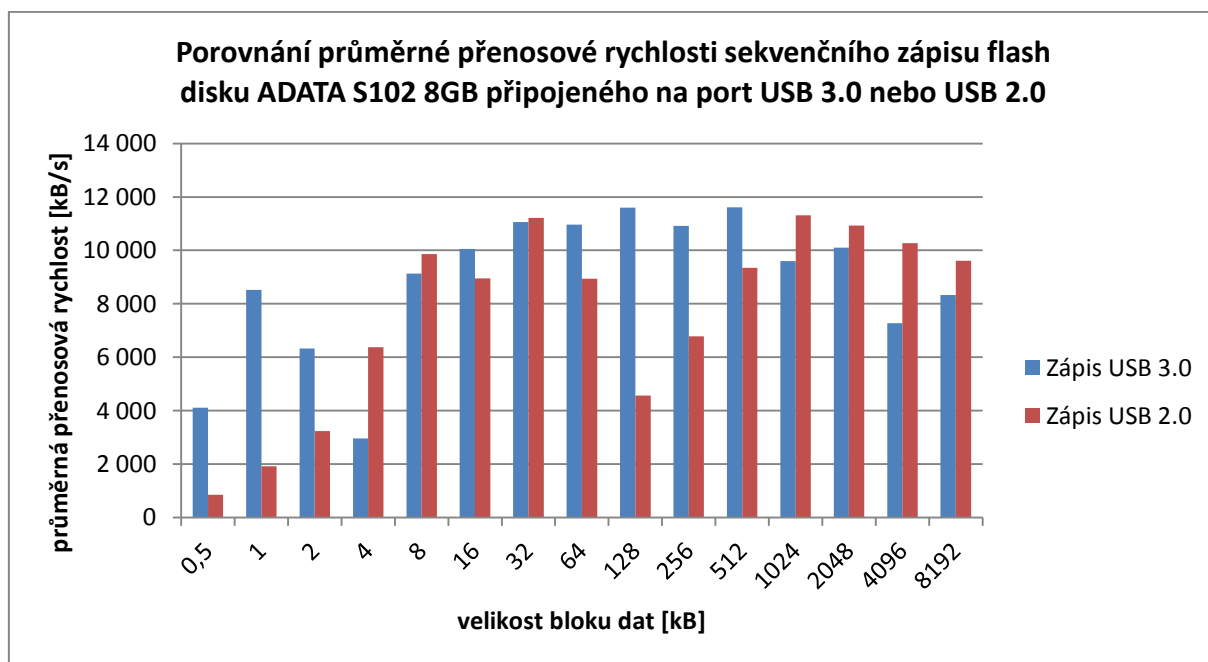
Graf D-2 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 2.0

Příloha 86 Porovnání průměrná přenosová rychlosti sekvenčního čtení flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0



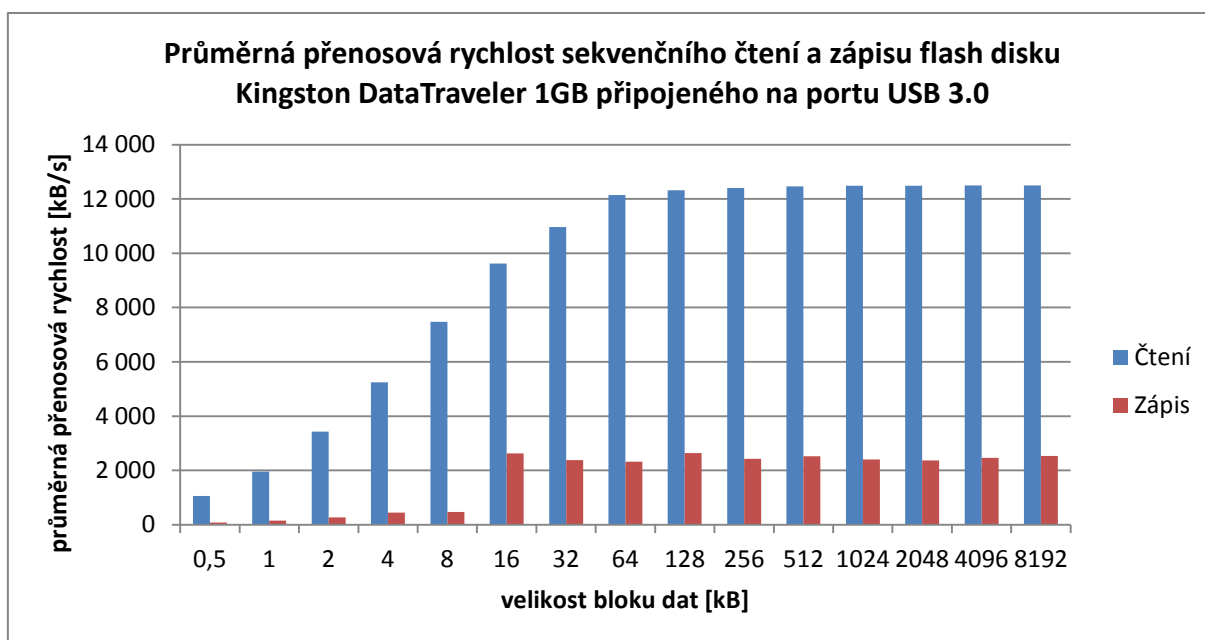
Graf D-3 Porovnání průměrná přenosová rychlosti sekvenčního čtení flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0

Příloha 87 Porovnání průměrná přenosová rychlosti sekvenčního zápisu flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0



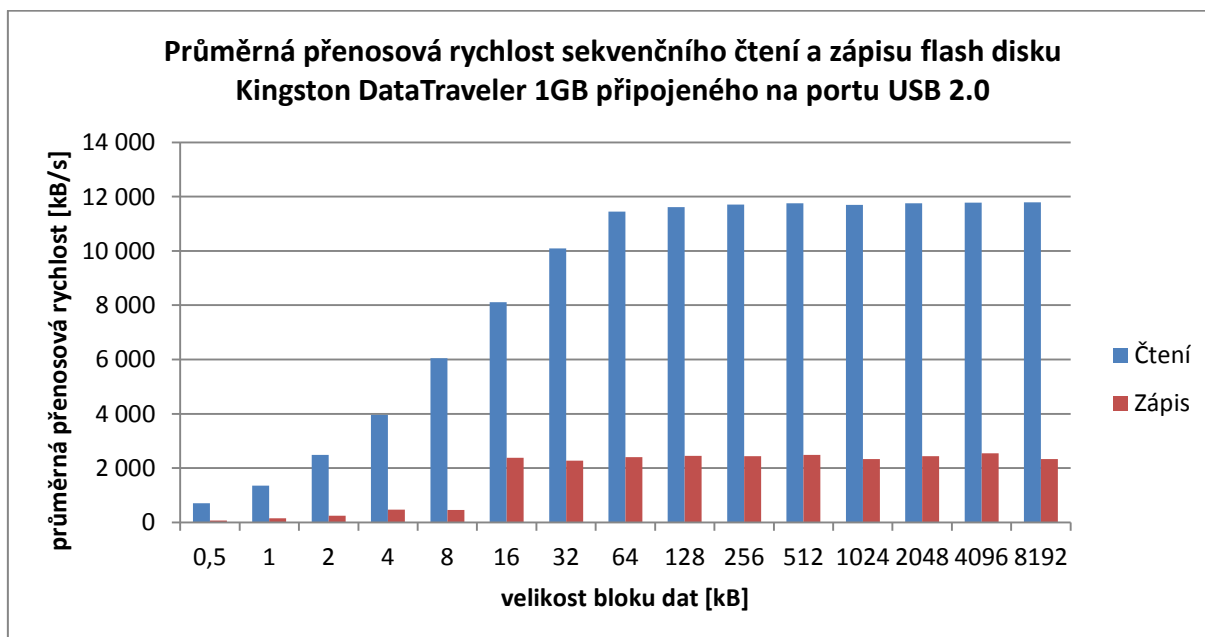
Graf D-4 Porovnání průměrná přenosová rychlosti sekvenčního zápisu flash disku ADATA S102 8GB připojeného na portu USB 3.0 nebo USB 2.0

Příloha 88 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 3.0



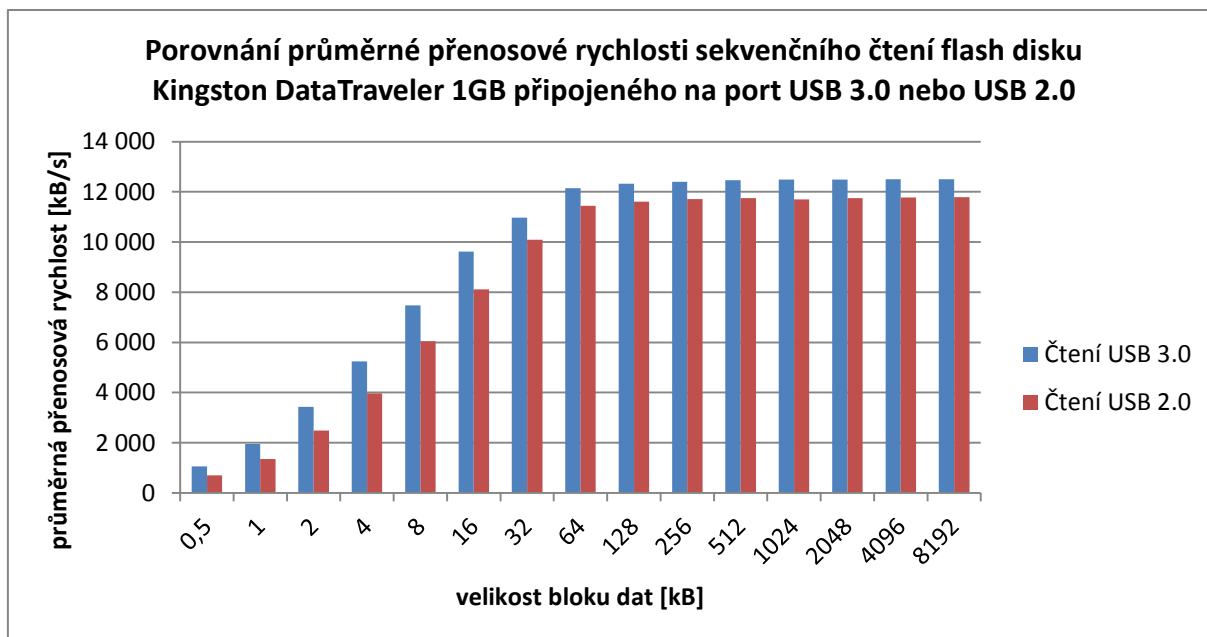
Graf D-5 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 3.0

Příloha 89 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 2.0



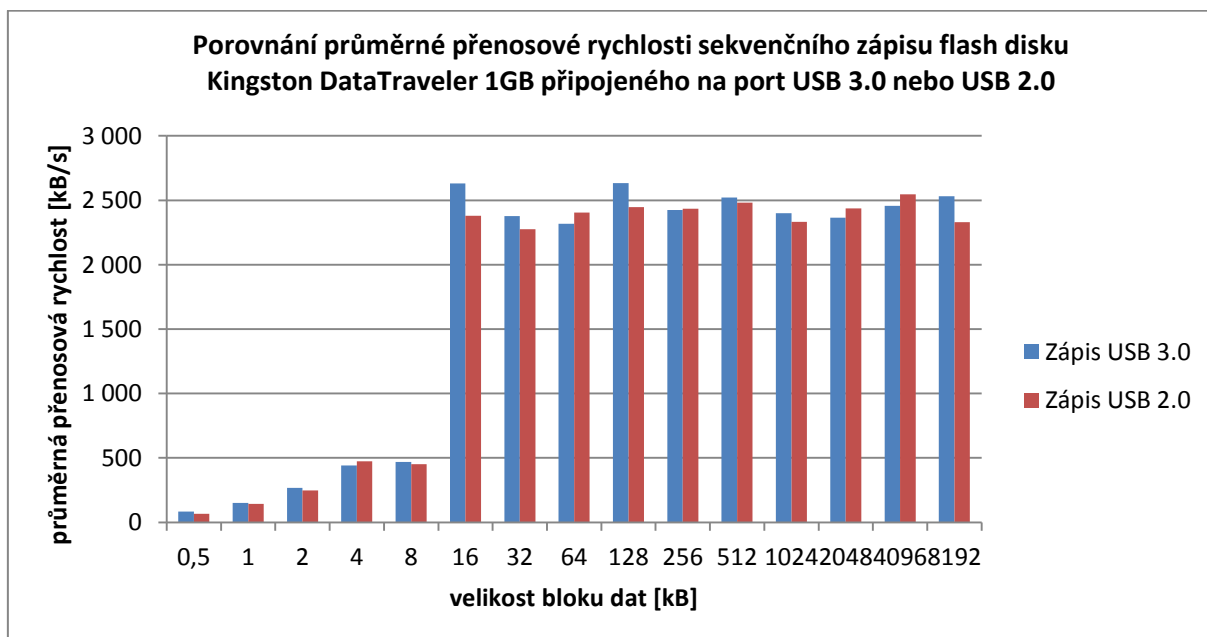
Graf D-6 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na portu USB 2.0

Příloha 90 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0



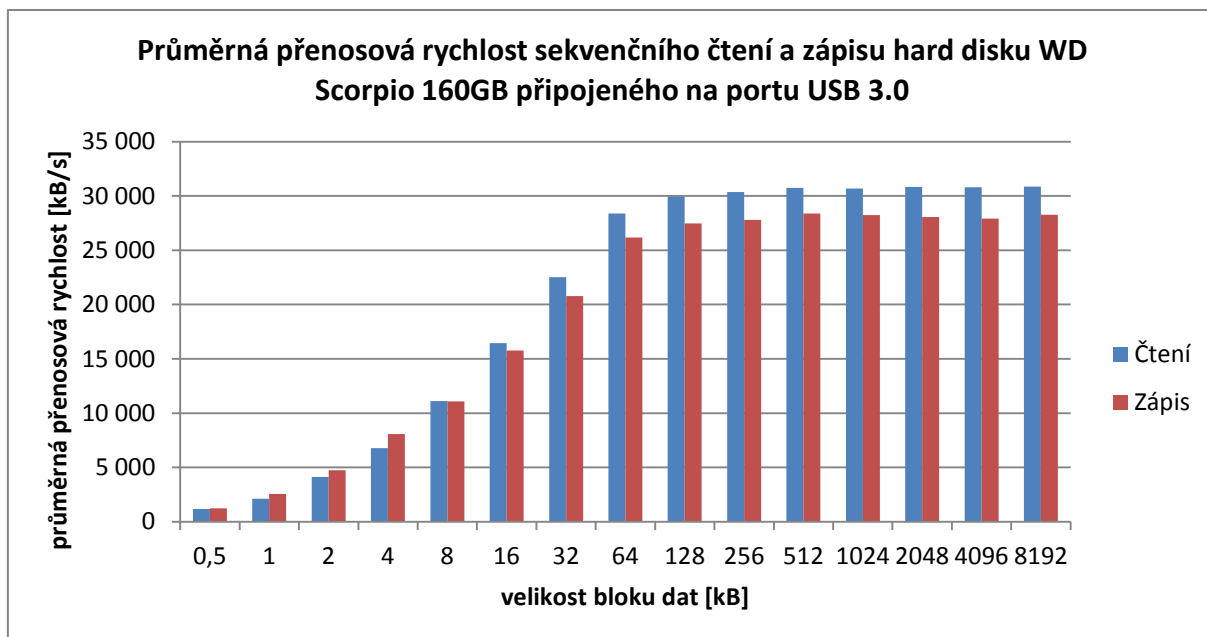
Graf D-7 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0

Příloha 91 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0



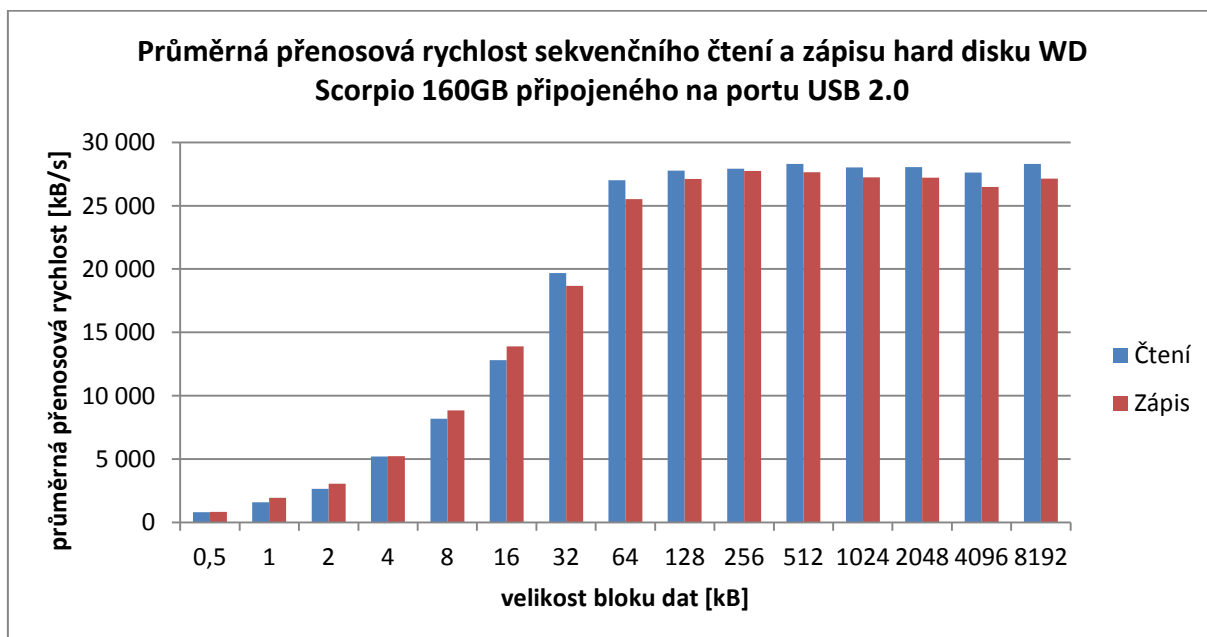
Graf D-8 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu flash disku Kingston DataTraveler 1GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0

Příloha 92 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 3.0



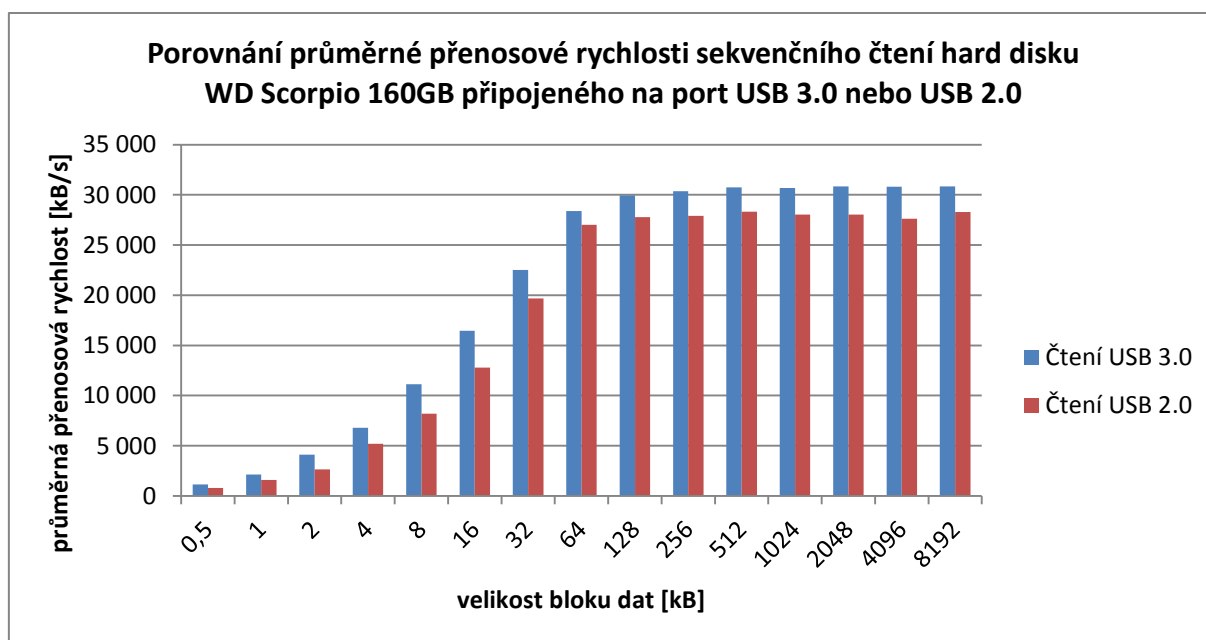
Graf D-9 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 3.0

Příloha 93 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 2.0



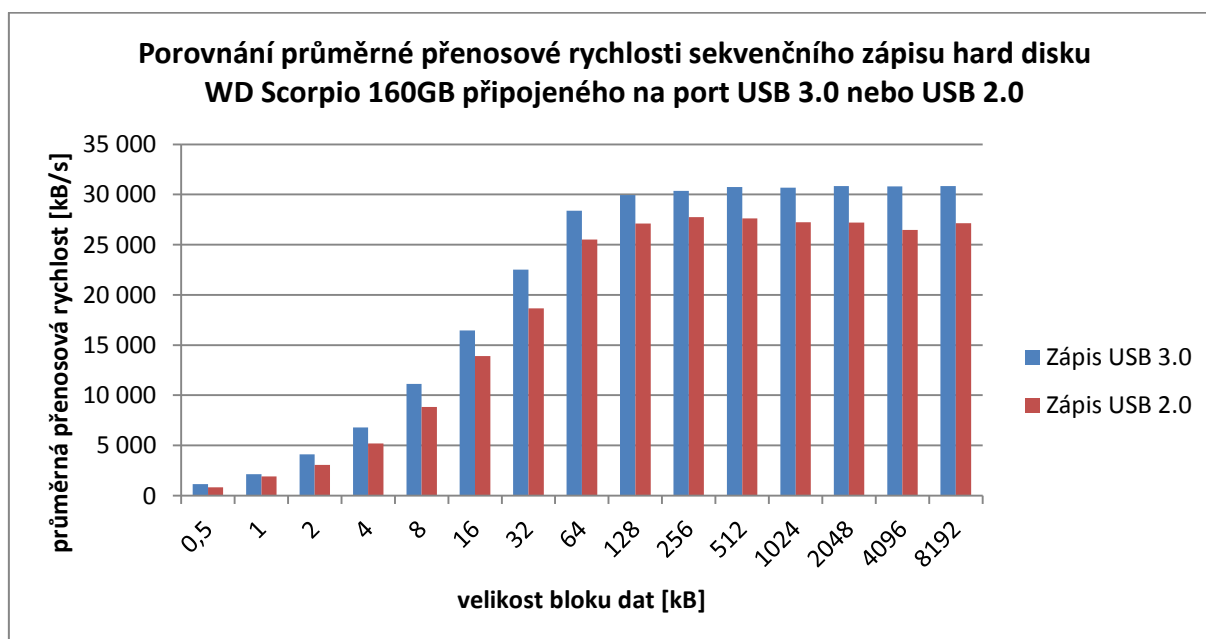
Graf D-10 Průměrná přenosová rychlost sekvenčního čtení a zápisu dat hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na portu USB 2.0

Příloha 94 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0



Graf D-11 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního čtení hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0

Příloha 95 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0



Graf D-12 Porovnání průměrné přenosové rychlosti sekvenčního zápisu hard disku WD Scorpio 160GB připojeného na port USB 3.0 nebo USB 2.0

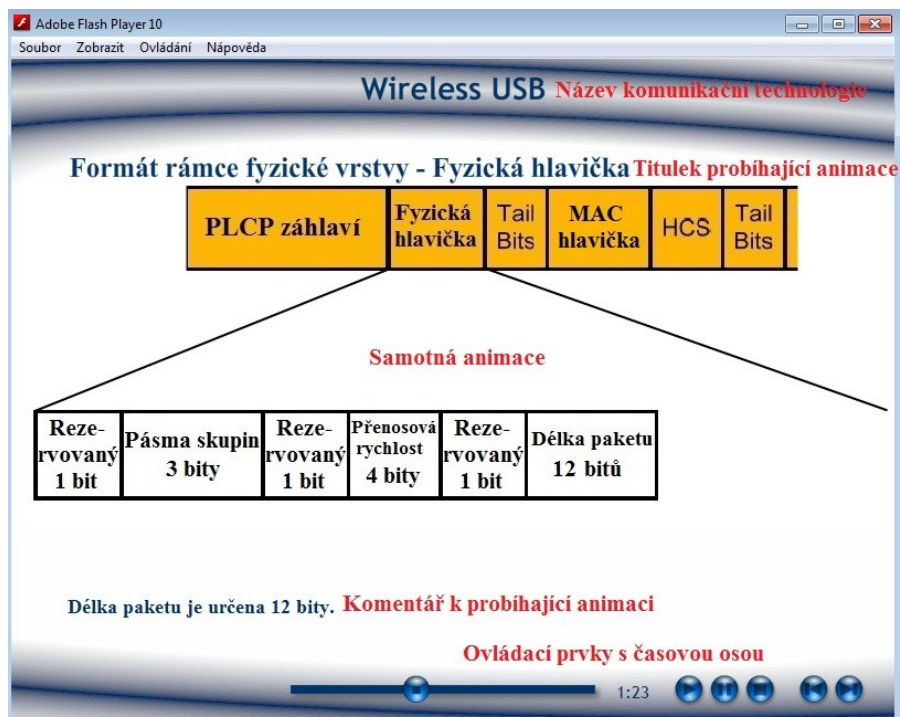
E. Animace

Příloha 96 Základní animace – menu WUSB



Obrázek E-1 Základní animace – menu WUSB

Příloha 97 Rozdělení animace na části



Obrázek E-2 Rozdělení animace na části